



Linee guida per la valutazione delle emissioni di polveri provenienti da attività di produzione, manipolazione, trasporto, carico o stoccaggio di materiali polverulenti.

## **Relazione Tecnica:**

**Emissioni di polveri diffuse: un approccio modellistico per la valutazione dei valori di emissione di PM10 compatibili con i limiti di qualità dell'aria.**

**Appendice A**

**Appendice B**

**Appendice C**

*Franco Giovannini*

*AFR Modellistica Previsionale*

## **Emissioni di polveri diffuse: un approccio modellistico per la valutazione dei valori di emissione di PM10 compatibili con i limiti di qualità dell'aria.**

***Franco Giovannini, AFR "Modellistica previsionale", U.O. PCAI, ARPAT - Dipartimento provinciale di Firenze***

L'esperienza di valutazione preventiva degli impatti sull'ambiente, maturata all'interno dei procedimenti di autorizzazione, ha evidenziato come l'applicazione di modelli di dispersione a situazioni emissive riconducibili ad attività di lavorazione e trattamento di inerti o delle attività di cantiere, comporta in generale stime di ricadute di particolato (PM10) estremamente elevate e spesso anche superiori ai valori limite per la qualità dell'aria. Questo è dovuto da un lato agli elevati fattori di emissione specifici di queste attività, dall'altro alle particolari condizioni di emissione; questo tipo di sorgenti infatti si presenta generalmente esteso su di una certa area ed assume le caratteristiche di una emissione diffusa anziché quella di una sorgente convogliata in specifici dispositivi di evacuazione (camini), come la maggior parte delle emissioni di tipo industriale.

L'analisi e la valutazione delle ricadute al suolo di particolato dovute a queste sorgenti richiede un notevole impegno tecnico e non sempre risulta percorribile, soprattutto a causa della difficoltà a reperire i dati necessari. Per tale motivo si è cercato di effettuare una serie di applicazioni modellistiche in condizioni controllate con la quale ottenere delle indicazioni di carattere sufficientemente generale.

I dati ed i risultati di tali applicazioni, presentati nel seguito, possono essere ragionevolmente impiegati per una valutazione a priori dell'impatto dovuto a questo tipo di sorgenti.

Sulla base dei risultati ottenuti con tale serie di applicazioni modellistiche è possibile indicare dei valori di emissione che possono essere considerati a priori compatibili con il rispetto dei limiti di qualità dell'aria; questi possibili valori di soglia emissiva differiscono tra loro per il grado di cautela o salvaguardia nel rispetto dei limiti di legge per la qualità dell'aria attualmente vigenti.

## 1. Introduzione

L'idea principale alla base di questo lavoro consiste nell'esplorazione della possibilità di valutare a priori l'impatto dovuto a sorgenti diffuse di particolato.

La metodologia impiegata consiste nel definire inizialmente una situazione emissiva standardizzata (sorgente), con caratteristiche compatibili con quelle tipiche delle attività interessate come sorgenti di polveri diffuse (cave, cantieri); quindi, mediante l'applicazione di un modello di dispersione (in questo caso è stato impiegato ISCST3 dell'US-EPA) si vanno a determinare le concentrazioni di PM10 alle diverse distanze dalla sorgente (ipotizzando il terreno piano).

La proporzionalità tra concentrazioni stimate e flussi di massa (emissioni in un dato tempo) permette allora di valutare quali emissioni specifiche (e globali) corrispondono a concentrazioni paragonabili ai valori limite per la qualità dell'aria. Attraverso queste si possono determinare delle soglie di emissione (con maggiori o minori garanzie) al di sotto delle quali non sussistono presumibilmente rischi di superamento o raggiungimento dei valori limite di qualità dell'aria.

Le stime ottenute valgono con una serie di limitazioni: qualora la situazione reale si discosti fortemente da quella simulata è evidente che le soglie non possono essere ritenute di sufficiente salvaguardia ed occorrono valutazioni modellistiche specifiche.

Per poter rendere generale questo percorso di stima è necessario definire e tenere in opportuna considerazione tutta una serie di elementi dai quali possono dipendere i valori stimati. In particolare possono assumere rilevanza elementi quali le concentrazioni di fondo (ovvero i valori di concentrazione non dovuti alla sorgente in esame), le caratteristiche geometriche e fisiche attribuite alla sorgente (dimensioni, forma, valori dei parametri necessari per la schematizzazione utilizzata nelle simulazioni, distribuzione granulometrica ed altre proprietà del particolato), le condizioni meteorologiche dell'area.

Si ricorda che i limiti di legge per il PM10 (riferiti al 2005<sup>1</sup>) sono relativi alle concentrazioni medie annue (40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ed alle medie giornaliere (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) del quale sono tuttavia ammessi 35 superamenti in un anno; quindi per valutare il superamento di questo limite occorre riferirsi alla distribuzione dei valori medi giornalieri ed al 36° valore più elevato (all'incirca il suo 90° percentile) per valutare il superamento di questo limite.

---

<sup>1</sup> La seconda fase della normativa europea recepita con il DM 60/02 prevedeva il passaggio a limiti più restrittivi a partire dal 2010, ovvero la possibilità di superare solo 7 volte in un anno il valore dei 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  per le medie giornaliere, ed un limite di solo 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  per le medie annue di PM10. L'evoluzione normativa a livello europeo (vedi la recente: Direttiva 2008/50/CEE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 21 maggio 2008 relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa) ha eliminato questa seconda fase a favore dell'introduzione di valori limite e/o obiettivo per il PM2.5.

## 2. Caratteristiche dell'emissione e delle simulazioni

La sorgente standard impiegata consiste in un'area di forma quadrata con lato pari a 50 m (i lati sono allineati alle direzioni sud-nord ed est-ovest) quindi di superficie pari a 2500 m<sup>2</sup>. L'emissione diffusa di PM10 è schematizzata come sorgente areale con un rateo emissivo per unità di superficie e di tempo (g/s m<sup>2</sup>). Nella maggior parte delle simulazioni è stato impiegato un valore pari a 0.001 g/(s m<sup>2</sup>), corrispondente a 2.500 g/s ovvero 9000 g/h. Una serie di simulazioni è stata effettuata considerando anche gli effetti della deposizione del particolato; per queste simulazioni è stato necessario definire la distribuzione della massa al variare della dimensione del particolato; sono state considerate 4 classi di particolato con dimensione media pari a 1.25, 3.75, 6.25 e 8.75 µm, alle quali è stata assegnata una proporzione della massa totale emessa pari rispettivamente al 10%, 15%, 20% e 55%. I risultati ottenuti variando questi ed altri parametri (tra cui la forma della sorgente) sono riportati nella parte relativa all'analisi di sensibilità (parte 5). Sempre in relazione all'utilizzo degli algoritmi legati al fenomeno della deposizione del particolato, sono state stimate le necessarie grandezze di tipo micrometeorologico (friction velocity  $u^*$  e lunghezza di Monin-Obukhov  $L$ , dipendenti dalla rugosità superficiale  $z_0$  considerata); anche per queste è stata effettuata una analisi di sensibilità ripetendo la maggior parte delle simulazioni con due set di dati ottenuti con rugosità pari a 0.3 m e 0.1 m.

Le simulazioni sono state eseguite con dati meteorologici di due tipi, il primo corrispondente a condizioni fittizie standardizzate (tutte le possibili condizioni più rilevanti per la dispersione), l'altro invece relativo a dati effettivamente misurati ovvero rilevati presso alcune stazioni meteorologiche appartenenti alle reti di rilevamento della qualità dell'aria. Per le grandezze necessarie alle simulazioni, ma non direttamente misurate (quali l'altezza di miscelamento), si è provveduto a stime conservative.<sup>2</sup>

I risultati sono relativi ai valori di concentrazione ottenuti presso serie di recettori posti su di un reticolo polare con passo angolare di 5° ed a distanze di 50, 100, 150, 200, 300 e 500 m dal centro della sorgente.

Si ritiene che il valore di concentrazione relativo ai 50 m possa considerarsi indicativo per l'area compresa tra il bordo della sorgente ed una distanza dell'ordine dei 50 m da questo. Così il valore relativo ai 100 m può essere considerato indicativo per la fascia di territorio tra i 50 ed i 100 m di distanza dal bordo, e così via.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> La stima dell'altezza di miscelamento urbana o rurale è stata effettuata seguendo quanto indicato dall'US-EPA per il modello semplificato SCREEN3; si osserva che nel caso presente trattando di emissioni a terra e senza innalzamento termico, questo parametro non risulta determinante.

<sup>3</sup> Si veda la successiva discussione alla parte 5. Analisi di sensibilità delle stime.

### 3. Stime di primo livello o di screening

Per poter effettuare il confronto con i limiti di qualità dell'aria sarebbe richiesto di valutare le concentrazioni massime annue e la distribuzione di quelle giornaliere relative a ciascun punto del territorio esterno all'area di attività. Questo può essere fatto soltanto disponendo di dati meteorologici (opportuni per l'utilizzo dei modelli di dispersione) estesi su molti anni e raccolti con frequenza oraria (poiché sono richieste stime delle concentrazioni giornaliere non è utilizzabile il solo approccio long-term o climatologico). Le condizioni meteorologiche possono inoltre variare notevolmente da luogo a luogo soprattutto in un territorio dall'orografia complessa come quello della Toscana. Ciò significa che almeno teoricamente occorrerebbe conoscere questi dati ed effettuare le stime con la meteorologia specifica di ogni sito.

Per poter operare in modo indipendente dalla meteorologia specifica del luogo occorre usare tecniche di stima più grossolane ma cautelative; stime di questo tipo possono essere eseguite con la seguente procedura:

1. viene effettuata la stima delle concentrazioni orarie massime possibili; cioè, di quelle concentrazioni ottenute ipotizzando tutte le possibili condizioni meteorologiche (fittizie) date dalla combinazione di classe di stabilità atmosferica (di Pasquill), classe di velocità del vento con questa compatibile, e direzione del vento.<sup>4</sup>
2. le stime relative ai valori massimi giornalieri e annui si ottengono moltiplicando i valori massimi orari precedentemente individuati per opportuni coefficienti suggeriti dall'US-EPA (procedura di screening).<sup>5</sup>
3. Alle stime così ottenute possono essere aggiunti i valori delle concentrazioni di fondo dell'area d'interesse, se sono noti o valutabili.

Per quanto riguarda il punto 2., l'US-EPA indica degli intervalli di valori all'interno dei quali scegliere il coefficiente moltiplicativo da adottare, facendolo variare in corrispondenza delle particolari situazioni e condizioni di dispersione, tipo presenza di terreno ad orografia complessa, presenza di edifici che possano produrre effetti di downwash ecc.. Di conseguenza sono definiti dei valori corrispondenti al minimo, al valore centrale ed al valore massimo degli intervalli.

Seguendo quindi l'US-EPA il coefficiente cautelativo che permette la stima della concentrazione massima giornaliera a partire da quella massima oraria risulta compreso tra 0.2 e 0.6. Analogamente il coefficiente per ottenere la massima media annua risulta compreso tra 0.06 e 0.10.

In Tabella 1 sono riportati i valori ottenuti applicando questa procedura nel caso della sorgente standard

---

<sup>4</sup> La temperature non viene variata ma in questo caso è influente.

<sup>5</sup> "Screening Procedures for Estimating the Air Quality Impact of Stationary Sources, Revised" US-EPA 1992

ipotizzata.

Si osserva innanzitutto come le concentrazioni massime orarie risultino ampiamente superiori in condizioni rurali rispetto a quelle ottenute in condizioni urbane, le quali risultano ridotte di circa il 30 %. Ciò ovviamente si riflette anche nelle stime relative alle massime concentrazioni giornaliere ed annue.

Considerando la stima “intermedia” delle concentrazioni annue riportate in Tabella 1 ed effettuando il rapporto con il valore limite di qualità dell’aria pari a  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  si ottiene un valore pari a 31.6 nel caso rurale e di 21.8 nel caso urbano. Questo significa che l’emissione standard utilizzata deve essere ridotta di tali fattori per poter dar luogo a concentrazioni annue massime dell’ordine del valore limite di  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . In altri termini dividendo il flusso di massa di 9000 g/h per i fattori precedentemente ottenuti si ottengono dei flussi di massa pari a 285 g/h (nel caso rurale) e 413 g/h (nel caso urbano) cui corrispondono concentrazioni massime annue di circa  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Scegliendo quindi valori di emissione inferiori a questi, ad esempio 280 g/h, almeno per la sorgente standard utilizzata, si ha la ragionevole garanzia che le concentrazioni prodotte dalle emissioni di questa non superino (in alcuna condizione) il limite di qualità dell’aria relativo alla concentrazione media annua di PM10.

Tabella 1: stima secondo il criterio “screening” delle concentrazioni massime giornaliere ed annue

Emissione: 9000 g/h	massimo orario	Stima massima media giornaliera			Stima massima media annua		
		bassa	intermedia	alta	bassa	intermedia	alta
Distanza 50 m	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )						
Condizioni rurali	15772	3154	6309	9463	946	1262	1577
Condizioni urbane	10891	2178	4356	6535	653	871	1089

La valutazione può essere resa ancora più cautelativa andando a considerare la stima “alta” delle concentrazioni annue, così che il fattore di riduzione delle emissioni risulta adesso 39.4 (e 27.2 nel caso urbano). Si ottiene pertanto una soglia di emissione di 228 g/h (e pari a 330 g/h nel caso urbano).

L’approccio precedente può essere ripetuto riferendosi alle stime delle concentrazioni massime giornaliere riportate nella Tabella 1.

Si osserva in tal caso che la grandezza stimata non corrisponde esattamente con quella cui riferire il valore limite, in quanto, come detto, questo deve riferirsi al 36° valore più elevato della distribuzione delle medie giornaliere. Considerare tale valore limite riferito alle stime della concentrazione massima giornaliera contiene una dose elevata (da definire) di cautela. I risultati così ottenuti devono essere considerati ulteriormente conservativi.

Considerando la stima “intermedia” delle concentrazioni massime giornaliere ( $6309 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per le condizioni rurali e  $4356 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per quelle urbane) si ottiene un fattore di riduzione pari a 126.2 (e 87.1 per le condizioni urbane) con il quale si determina una soglia di emissione pari a 71 g/h (103 g/h in condizioni urbane). Tale valore risulta circa un terzo di quello analogamente determinato riferendosi alle medie annue.

In queste valutazioni non è stato tuttavia considerato l'apporto dovuto alle concentrazioni di fondo.

In assenza di una stima di queste, a livello generale, si possono ipotizzare criteri alternativi di accettabilità delle stime; uno di questi potrebbe essere definito ad esempio indicando la frazione di valore limite che, a priori, si può ritenere possa essere raggiunta o assegnata alla sorgente d'interesse.

Ad esempio se questa frazione viene fissata pari a  $\frac{1}{2}$  del limite, i precedenti valori delle soglie di emissione devono essere ridotti del 50%; se questa frazione fosse fissata pari ad  $\frac{1}{4}$  del limite, le precedenti soglie di emissioni dovrebbero essere ridotte del 75%.

#### **4. Stime alternative di screening**

Attraverso i risultati riportati in Tabella 1 e relativi alle massime concentrazioni orarie è possibile effettuare alcune stime delle massime concentrazioni giornaliere e annue non utilizzando i coefficienti proposti dall'US-EPA. Per queste stime alternative è però necessario ricorrere a valutazioni delle concentrazioni di fondo, ovvero più esattamente delle concentrazioni dovute alle altre sorgenti che possono insistere sull'area d'interesse.

##### **4.1. Concentrazioni di fondo**

L'analisi dei dati rilevati nel corso degli anni<sup>6</sup> dalle reti di rilevamento della qualità dell'aria nella regione, permette di evidenziare alcuni aspetti rilevanti per la stima delle concentrazioni di fondo:

- Innanzitutto occorre considerare che il superamento del valore dei  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  di media giornaliera può prodursi "accidentalmente" in qualsiasi luogo anche in posizioni molto lontane da qualsiasi sorgente diretta di PM10. Ciò in virtù di contributi di origine naturale e/o secondaria, quali ad esempio l'apporto di polveri di origine sahariana.
- I siti di misura sono classificati in relazione alla loro distanza da sorgenti dirette (industriali, da traffico, di fondo) ed in base alla loro localizzazione, ad esempio come rurali o urbani. I valori di concentrazione rilevati dipendono ovviamente da queste caratteristiche del sito di misura, ma dipendono anche da altre caratteristiche non del tutto esplicitate o riconducibili alla classificazione adottata.
- Per i rari siti nei quali il contributo di sorgenti dirette può essere ragionevolmente escluso ed al di fuori di aree urbanizzate, si osserva che le concentrazioni medie annue degli ultimi anni si aggirano intorno a valori dell'ordine dei  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Nel contesto analitico d'interesse (valutazione a priori degli effetti presunti di un'emissione diffusa di PM10) si

---

<sup>6</sup> Si vedano ad esempio le Relazioni sullo stato della qualità dell'aria per i vari ambiti territoriali ed amministrativi, redatte da ARPAT e disponibili sul sito web dell'agenzia [www.arpat.toscana.it](http://www.arpat.toscana.it). Informazioni rilevanti su tale aspetto sono anche state prodotte nel corso del progetto regionale PATOS del quale a breve dovrebbero essere resi disponibili i dati completi.

può ritenere sufficiente di limitare l'analisi ai casi in cui non si presentano sul territorio apporti diretti di altre specifiche sorgenti, ovvero che l'area d'interesse sia effettivamente considerata soggetta ad un valore di fondo di origine non locale. È peraltro evidente che qualora sussistano condizioni opposte oppure che, nella specifica situazione in esame, in un punto del territorio siano presumibili concentrazioni di fondo superiori al valore limite, tutte le presenti considerazioni non possono essere applicate.

#### 4.2. Stime relative alle concentrazioni massime giornaliere

A partire da queste considerazioni una valutazione per eccesso (cioè cautelativa) delle massime concentrazioni giornaliere di PM<sub>10</sub> in un dato punto del territorio ragionevolmente interessato dalle emissioni della sorgente d'interesse, si può ottenere considerando l'eventualità che per tutta la durata delle attività di questa sorgente (emissione) si raggiungano concentrazioni orarie pari al valore massimo stimato (Tabella 1), e che durante le 24 ore siano presenti concentrazioni dell'ordine di quelle di fondo.

In tal modo indicando con  $n_e$  il numero di ore di attività (in genere sarà pari a 8 o 10 ore) si ha

$$C(24)_{max} = \frac{[C(1)_{max} + C_{FONDO}] \cdot n_e + C_{FONDO} \cdot (24 - n_e)}{24}$$

Avendo indicato con:

$C(24)_{max}$  la massima concentrazione media giornaliera;

$C(1)_{max}$  la massima concentrazione media oraria

$C_{FONDO}$  la concentrazione attribuibile a tutte le altre sorgenti escluso quella d'interesse<sup>7</sup>

Indicando con  $C(24)_{limite}$  il valore limite per le concentrazioni medie giornaliere (50 µg/m<sup>3</sup>), si può richiedere che sia:

$$C(24)_{max} < C(24)_{limite}$$

da cui si ottiene:

$$C(1)_{max} < \frac{[C(24)_{limite} - C_{FONDO}] \cdot 24}{n_e}$$

Considerando un valore di fondo compreso tra 0 e 25 µg/m<sup>3</sup>, con il valore limite di 50 µg/m<sup>3</sup> e con un numero di ore di attività giornaliera pari a 8 e 10, si ottiene che per rispettare la condizione imposta le concentrazioni orarie massime devono risultare inferiori ai valori riportati in Tabella 2.

Effettuando i rapporti tra le concentrazioni massime orarie stimate per il caso urbano e per quello rurale (e riportate in Tabella 1) e questi valori, si ottengono due serie di fattori di riduzione da applicare al flusso di massa impiegato nelle simulazioni per individuare quali soglie emissive garantiscono il rispetto del limite giornaliero.

<sup>7</sup> Non si considera per semplicità la sua possibile variabilità temporale.



Tabella 2: concentrazioni soglia per il rispetto del limite (a 50 m) al variare del valore di fondo e delle ore di emissione

Concentrazioni massime orarie compatibili ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		$C_{\text{FONDO}}$						$n_e$
		0	5	10	15	20	25	
$C(1)_{\text{max}}$	<	150	135	120	105	90	75	8
		120	108	96	84	72	60	10

Tali valori di soglia di emissione sono riportati nella Tabella 3.

Come si può facilmente osservare, gli ordini di grandezza di tali emissioni corrispondono a quelli dei valori ottenuti in precedenza con l'utilizzo dei coefficienti dell'US-EPA.

Tabella 3: soglie di emissione (in g/h) per il rispetto del limite di qualità dell'aria (a 50 m) al variare delle concentrazioni di fondo e delle ore di emissione.

Soglie di emissione		condizioni	$C_{FONDO}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )						$n_e$
			0	5	10	15	20	25	
Flusso di massa (g/h)	<	urban	124	112	99	87	74	62	8
		rural	86	77	68	60	51	43	8
		urban	99	89	79	69	59	50	10
		rural	68	62	55	48	41	34	10

Il presente metodo ha il vantaggio di poter essere direttamente applicato ad ogni recettore, mentre il precedente può essere applicato esclusivamente riferendosi al recettore più esposto.

Inoltre questo metodo di stima alternativa permette di effettuare valutazioni che tengano conto di ulteriori elementi, provvedendo ad avvicinare le condizioni di simulazione a quelle reali.

#### 4.3. Stime relative al solo periodo diurno

Ad esempio si può prendere in considerazione il fatto che le emissioni di questo tipo di sorgente sono generalmente limitate al periodo diurno, nel quale si svolgono quasi esclusivamente le attività lavorative. Dal punto di vista dell'applicazione modellistica questa restrizione al periodo diurno può essere tradotta nel prendere in considerazione esclusivamente le condizioni convettive e neutre dello stato di turbolenza dell'atmosfera. Ciò trasferito in termini di simulazioni per il modello utilizzato consiste nel limitare la ricerca dei valori massimi di concentrazione oraria alle sole classi di stabilità A, B, C e D.

In tal caso i valori massimi orari delle concentrazioni nella fascia indicata dai 50 m (di Tabella 1) passano da 15772  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a 13203  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  per le condizioni rurali e da 10891  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a 7238  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel caso di condizioni urbane. Si

hanno cioè riduzioni dell'ordine del 16% in un caso e del 34% nell'altro.

Si osserva anche che le concentrazioni massime orarie assolute precedentemente individuate corrispondono a condizioni stabili dell'atmosfera (in termini di classi di stabilità, alla E o F).

Utilizzando i valori massimi orari ottenuti per le condizioni diurne i risultati delle soglie di emissione analoghi a quelli della Tabella 3 sono ora riportati nella Tabella 4.

Il confronto tra i valori di soglia riportati nelle Tabelle 3 e 4 indica che ovviamente considerando le sole condizioni diurne si ottengono soglie di emissione superiori, fino a circa il doppio delle altre in alcune delle situazioni considerate. L'ordine di grandezza rimane però sostanzialmente analogo, e corrisponde a valori intorno ai 100 g/h.

Tabella 4: soglie di emissione (in g/h) per il rispetto del limite di qualità dell'aria (a 50 m) al variare delle concentrazioni di fondo e delle ore di emissione, considerando soltanto le condizioni diurne

Soglie di emissione		condizioni	$C_{FONDO}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )						$n_e$
			0	5	10	15	20	25	
Flusso di massa (g/h)	<	urban	187	168	149	131	112	93	8
		rural	102	92	82	72	61	51	8
		urban	149	134	119	104	90	75	10
		rural	82	74	65	57	49	41	10

#### 4.4. Stime ottenute considerando il fenomeno della deposizione secca del particolato

Nelle simulazioni finora considerate è presente una dose di cautela legata anche ad alcune schematizzazioni tipiche dei fenomeni di dispersione degli inquinanti nei bassi strati dell'atmosfera approntate all'interno dei modelli numerici di simulazione. Ad esempio nelle applicazioni dei modelli di dispersione è normale considerare la riflessione al suolo degli inquinanti; alcuni modelli, tra cui quello qui utilizzato, permettono però di attivare una serie di algoritmi e sottomodelli specifici con i quali trattare alcuni fenomeni come quello dell'interazione tra l'inquinante ed il suolo. Questo può essere rilevante sia per gli inquinanti gassosi che a maggior ragione per il particolato.

Per poter utilizzare queste opzioni il modello richiede in ingresso alcuni dati meteorologici specifici, relativi a grandezze e parametri non direttamente e normalmente misurati dalle stazioni meteorologiche standard. Nel presente caso questi dati sono stati ricavati attraverso alcune parametrizzazioni normalmente utilizzate in micrometeorologia e ricorrendo ad una tecnica grossolana che assicura la compatibilità e coerenza dei valori tra le variabili meteorologiche impiegate.<sup>8</sup> In

<sup>8</sup> I dettagli completi del metodo sono riportati in appendice alla relazione: "Osservazioni in merito al contenuto delle integrazioni all'analisi previsionale di impatto atmosferico legato alle attività del progetto di recupero delle aree di cava dell'isola dei Renai, lotto 3 e lotto finale, nel Comune di Signa (n.p. 7707/1.03.41 del 18/06/2006)" ARPAT - Dipartimento provinciale di Firenze. Un metodo analogo è indicato anche in "Approved Methods for Modelling and Assessment of Air Pollutants in New South Wales" NSW-EPA, Sidney Australia, 2005, [www.environment.nsw.gov.au](http://www.environment.nsw.gov.au)

questa parte vengono presentati i risultati ottenuti applicando questa metodologia con una rugosità superficiale pari a 0.3 m. Le variazioni prodotte da una diversa scelta di tale parametro (rugosità superficiale pari a 0.1 m) sono esaminate nella parte successiva relativa alla cosiddetta “analisi di sensibilità”.

Inoltre per poter effettuare la simulazione del fenomeno di deposizione del particolato il modello richiede che si definiscano le classi dimensionali di questo e per ciascuna, la frazione di massa e la densità assegnata alle particelle. Per questi parametri è stata effettuata una scelta che suddivide il PM10 in 4 classi granulometriche, delle quali la più fine risulta corrispondere alla frazione PM2.5 (dimensione media di 1.25  $\mu\text{m}$ , intermedia cioè ai valori 0 e 2.5  $\mu\text{m}$ ) mentre le altre coprono la frazione “coarse” o grossolana. Alla parte PM2.5 corrisponde una frazione di massa del 10% del totale, mentre alla classe di maggiore dimensione corrisponde una frazione di massa del 55%. Questa scelta considera quindi il PM10 costituito dalla frazione coarse per circa il 90% ed è stata effettuata in relazione alla presunta origine (di tipo prevalentemente meccanico) delle emissioni diffuse oggetto del presente lavoro. Questo significa anche che gli effetti del fenomeno della deposizione del PM10 dovrebbero apparire evidenziati nelle simulazioni, proprio perché la maggior parte della massa è concentrata nella frazione coarse. Nella parte successiva relativa all’analisi di sensibilità vengono esaminati i risultati anche di casi con distribuzioni di massa differenti.

Le concentrazioni massime orarie ottenute considerando il fenomeno della deposizione del particolato risultano adesso pari a 15024  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  per il caso rurale e 10454  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  per il caso urbano. Si hanno quindi riduzioni dell’ordine del 5% e del 4% nei due casi. Gli effetti del fenomeno di deposizione si evidenziano maggiormente con l’allontanarsi dalla sorgente (si veda la parte successiva).

Questi risultati indicano anche però che l’inserimento del fenomeno nella valutazione non comporta variazioni significative per quanto riguarda i punti recettori e le stime di massimo impatto.

#### 4.5. Stime relative alle concentrazioni medie annue

Si possono effettuare delle stime per eccesso delle concentrazioni massime annue senza ricorrere ai coefficienti proposti dall’US-EPA ma, in analogia con quanto fatto in precedenza, riferendosi ai tempi medi caratteristici delle attività e delle corrispondenti emissioni.

Si indichi con  $n_g$  il numero di giorni di attività durante l’anno (giorni lavorativi, di norma tra 200 e 260) e con  $n_h$  il numero di ore lavorative durante il giorno (di norma 8 o 10), per cui il numero di ore di emissione durante l’anno risulta  $n_g \times n_h$ ; se in ciascuna di queste ore si ha la concentrazione massima oraria possibile precedentemente stimata, cui si può eventualmente aggiungere il contributo del fondo, attribuibile anche a tutte le rimanenti ore dell’anno, si ottiene:

$$C(8760)_{\max} = \frac{n_g n_h (C(1)_{\max} + C_{\text{FONDO}}) + (365 \times 24 - n_g n_h) C_{\text{FONDO}}}{365 \times 24} = \frac{n_g n_h C(1)_{\max}}{365 \times 24} + C_{\text{FONDO}}$$

Ad esempio se l’attività lavorativa si svolge su 220 giorni all’anno per 10 ore al giorno, la stima della concentrazione massima risulta:

$$C(8760)_{\max} \approx 0.25C(1)_{\max} + C_{FONDO}$$

Come fatto in precedenza, considerando il valore limite per le medie annue ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), da queste espressioni è possibile ricavare delle condizioni per le concentrazioni massime orarie e successivamente per le emissioni:

$$C(1)_{\max} < \frac{8760}{n_g n_h} [C(8760)_{\limite} - C_{FONDO}]$$

In analogia con le Tabelle 2 e 3 nella seguente Tabella 5 sono riportate le soglie di concentrazione e quelle corrispondenti di emissione derivanti dalle stime effettuate impiegando un numero di giorni di attività pari a 220 e 10 ore/giorno, al variare del valore di fondo scelto.

Tabella 5: concentrazioni ed emissioni soglia per il rispetto del limite (a 50 m) al variare del valore di fondo (relative a 220 giorni/anno e 10 ore/giorno di emissione)

Valori di soglia		$C_{FONDO} \ (\mu\text{g}/\text{m}^3)$				
		0	5	10	15	20
$C(1)_{\max} \ (\mu\text{g}/\text{m}^3)$	<	160	140	120	100	80
Flusso di massa (g/h)		91	80	68	57	46

## 5. Analisi di sensibilità delle stime

I risultati precedenti indicano già che, definita la sorgente, le concentrazioni massime orarie sulle quali si fonda il metodo semplificato di stima, variano in modo molto limitato se si inserisce nella simulazione il fenomeno della deposizione. Variazioni più rilevanti, anche se non superiori al 50% si osservano invece quando si confrontano i risultati assoluti rispetto a quelli ottenuti con le simulazioni limitate alle sole classi di stabilità instabili e neutre (A, B, C, D).

Dell'ordine del 30% risultano le differenze tra i valori massimi valutate nelle simulazioni al variare delle condizioni del territorio che influenzano la dispersione: le concentrazioni associate alla condizione urbana risultano appunto inferiori di circa il 30% rispetto a quelle che si ottengono in condizioni rurali.

In questa parte vengono completate ed estese queste osservazioni con l'obiettivo di fornire gli elementi necessari a valutare la robustezza dei risultati ottenuti per la sorgente standard, e la loro applicabilità a casi reali che possano discostarsene in vario modo. In particolare vengono esaminati gli andamenti delle concentrazioni al variare della distanza dalla sorgente; vengono poi presentati alcuni risultati tesi a definire le variazioni associabili al variare della forma della sorgente e delle sue dimensioni. Infine vengono valutate anche le differenze dovute a scelte diverse nella definizione del PM10 in relazione alla simulazione della deposizione secca, e come variano i risultati variando la rugosità del territorio e conseguentemente i valori dei parametri micrometeorologici.

### 5.1. Andamento delle concentrazioni massime orarie al variare della distanza dalla sorgente, con o senza deposizione.

Le concentrazioni dipendono ovviamente dalla distanza dalla sorgente. A differenza di quanto avviene per una sorgente schematizzabile come un punto, quelle che qui interessano occupano una certa parte del territorio, hanno una certa estensione territoriale la quale non permette di definire univocamente una distanza tra sorgente e recettore (caso mai una distanza minima tra il bordo della sorgente ed il recettore).

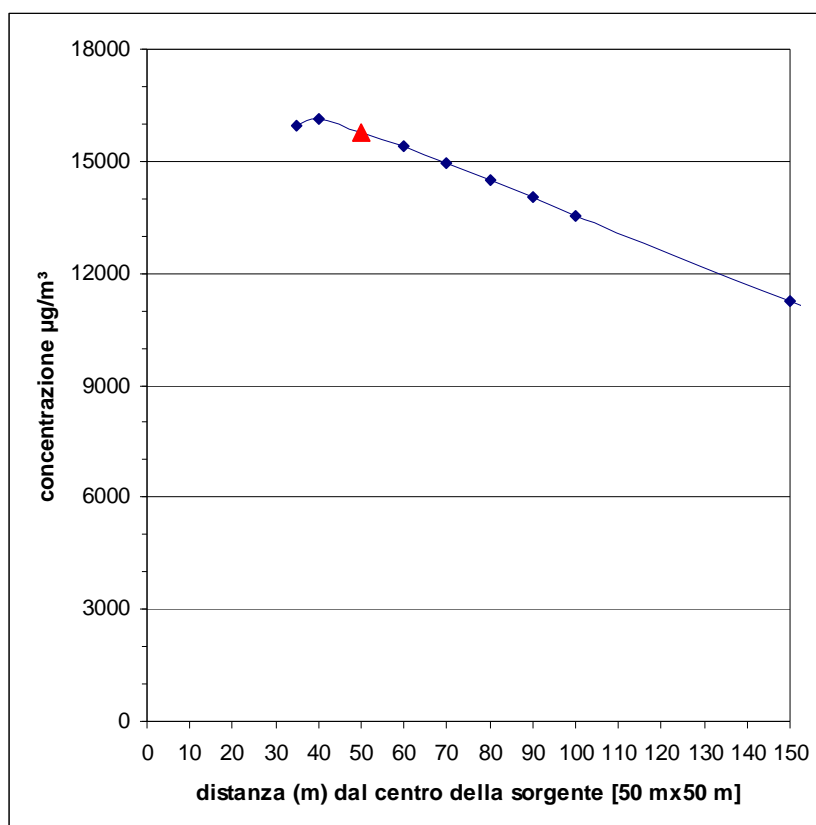
All'interno dell'area di attività, cioè entro la sorgente, non vengono valutate le concentrazioni perché questa zona è da ritenersi soggetta ad un regime normativo diverso e disciplinato dalla legislazione relativa alla tutela dei lavoratori (personale professionalmente esposto) piuttosto che quella dell'ambiente in generale. Nell'ambito che qui interessa la stima degli effetti della sorgente è effettuata nel territorio esterno all'area della sorgente.

In Figura 1 è riportato il dettaglio dell'andamento delle concentrazioni massime orarie ottenute con la sorgente standard (superficie quadrata 50 m x 50 m, con flusso di massa complessivo di 9000 g/h) a breve distanza da questa, ovvero tra i 35 ed i 150 m di distanza dal suo centro, corrispondenti ad un intervallo di distanza dal suo bordo che va dal metro a circa 120 m.

Come anticipato, per la zona di massimo impatto compresa tra il bordo e circa 50 m di distanza da questo si è scelto di utilizzare i valori di concentrazione relativi alla distanza di 50 m dal centro della sorgente. Si osserva dai dati

riportati in Figura 1 che le concentrazioni in questa zona (approssimativamente compresa nella Figura tra i valori che vanno da 35 m ai 75 m sulle ascisse) comportano una variazione dell'ordine del 10%; la scelta del valore rappresentativo costituisce una sottostima del 2.2% rispetto al massimo ed una sovrastima del 6.6% rispetto al valore minimo nella fascia (relativo al punto più lontano dalla sorgente).

Alla zona successiva compresa tra le distanze di 75 m e circa 125 m dal centro, è attribuito il valore di concentrazione corrispondente ai 100 m di distanza dal centro. L'andamento lineare ricavabile in parte dalla Figura 1 permette di valutare una variazione massima delle concentrazioni in questa zona di circa il 16%, con uno scostamento del massimo e del minimo dell'ordine dell'8% rispetto al valore rappresentativo scelto.



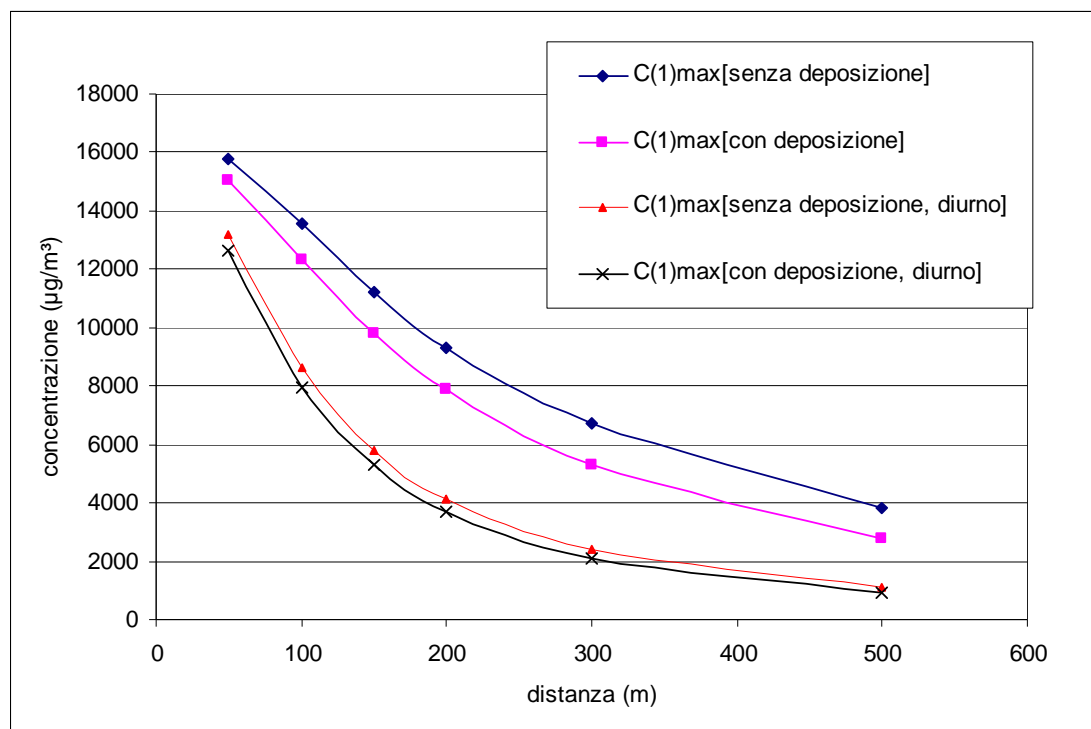
**Figura 1:** andamento delle concentrazioni al variare delle distanza dal centro della sorgente. In particolare è mostrato l'intervallo da 35 m a 150 m. Viene evidenziato (▲)il valore corrispondente alla distanza di 50 m ritenuto rappresentativo delle concentrazioni nella fascia di territorio che va dal bordo della sorgente alla distanza di circa 50 m dal bordo stesso. La sorgente ha dimensioni 50 m x 50 m e flusso di massa pari a 9000 g/h.

In Figura 2 è riportato l'andamento delle concentrazioni massime orarie al variare della distanza per i punti recettori scelti come rappresentativi.

Ovviamente le concentrazioni diminuiscono con il crescere della distanza dalla sorgente; nel caso di condizioni rurali, senza considerare la deposizione, passando dal punto recettore riferito ai 50 m a quello riferito ai 100 m si osserva

una riduzione dell'ordine del 14%.

Per confronto in Figura 2 sono anche riportati i valori ottenuti considerando la deposizione del particolato e limitando le simulazioni alle sole condizioni tipiche teoricamente diurne.



**Figura 2:** andamento delle concentrazioni al variare delle distanza dal centro della sorgente. La sorgente ha dimensioni 50 m x 50 m e flusso di massa pari a 9000 g/h. Vengono riportate le serie di valori relativi alle condizioni rurali, con e senza deposizione e considerando solo le condizioni atmosferiche diurne (classi di stabilità A, B, C e D).

Si osserva che l'effetto della deposizione del particolato (relativo al caso rurale ed alla distribuzione granulometrica adottata) porta ad una riduzione della concentrazione oraria massima stimata che passa dal 5% a 50 m fino al 27% a 500 m di distanza dal centro. Considerando invece solo condizioni diurne (classi di stabilità A, B, C e D) e la deposizione secca, si passa a riduzioni che vanno dal 4% a 50 m fino al 15% a 500 m.

I rapporti tra le stime di concentrazione, essendo indipendenti dal flusso di massa, hanno validità generale (dipendono però dal tipo di sorgente, dalla sua geometria e dalle caratteristiche del particolato) e vengono riportati in Tabella 6.

Da questi si osserva che se ci si pone a 500 m dalla sorgente, le concentrazioni massime orarie previste dal modello in condizioni urbane, considerando la deposizione del particolato e le sole condizioni diurne, risultano il 4% di quelle predette alla stessa distanza in condizioni rurali, senza considerare la deposizione e considerando invece tutte le condizioni meteorologiche. Lo stesso confronto effettuato però per i valori a 50 m di distanza dal centro della sorgente indica una riduzione della concentrazione al 44%.

Tabella 6: rapporti tra le concentrazioni massime orarie corrispondenti a diverse opzioni ed i valori relativi alla condizione rurale, senza deposizione, al variare della distanza dal centro della sorgente.

distanza (m)	rurale, con deposizione,	rurale, senza deposizione, diurno	rurale, con deposizione, diurno	urbano, senza deposizione	urbano, con deposizione	urbano, senza deposizione, diurno	urbano con deposizione, diurno
50	0.95	0.84	0.80	0.69	0.66	0.46	0.44
100	0.91	0.63	0.59	0.41	0.38	0.20	0.19
150	0.87	0.52	0.47	0.29	0.27	0.13	0.12
200	0.84	0.44	0.40	0.23	0.21	0.09	0.09
300	0.80	0.36	0.31	0.17	0.15	0.06	0.06
500	0.73	0.29	0.24	0.13	0.11	0.04	0.04

## 5.2. Variazione delle concentrazioni massime orarie al variare della forma della sorgente e delle sue dimensioni.

Non è proponibile ripetere le simulazioni con un'ampia varietà di sorgenti facendone variare la forma e le dimensioni. In questo caso l'obiettivo più limitato dell'analisi consiste nell'esaminare alcuni casi in modo che dai risultati ottenuti sia possibile estrapolare dei comportamenti ed andamenti qualitativi delle concentrazioni massime rispetto al caso standard esaminato; a partire da quanto osservato poter poi applicare queste considerazioni all'impatto atteso da sorgenti reali che possano presentare caratteristiche simili a quelle esaminate.<sup>9</sup>

Assumendo una sorgente di forma rettangolare anziché quadrata, ovvero di dimensioni 30 m x 83.33 m in modo da mantenere la stessa area di emissione di quella standard (2500 m<sup>2</sup>), si osservano in corrispondenza della direzione parallela al lato maggiore concentrazioni massime assolute decisamente superiori a quelle del caso standard.

Nel caso della sorgente standard i valori massimi si presentavano nella direzione delle diagonali del quadrato, direzioni sulle quali davano il loro contributo diretto più punti della sorgente rispetto ad ogni altra possibile direzione; così nel caso della sorgente rettangolare il maggior numero di punti possibile fornisce un contributo diretto nelle direzioni di massima estensione della sorgente.

I rapporti tra le concentrazioni massime al variare della distanza sono riportati in Tabella 7.

In questa Tabella sono riportati anche gli analoghi valori relativi però ad una sorgente di forma pressoché circolare, di diametro pari alla diagonale della sorgente standard e riportati allo stesso flusso di massa complessivo.

<sup>9</sup> In Appendice C vengono anche indicati i possibili metodi per utilizzare i risultati qui ottenuti in presenza di più sorgenti.



Si osserva in questo caso un decremento delle concentrazioni massime rispetto alla situazione standard.

Nella Tabella sono infine riportati anche i rapporti relativi a due sorgenti quadrate con lato di 30 e 70 m, quindi rispettivamente meno e più estese della sorgente standard (anche in questo caso le concentrazioni sono riportate alla stessa emissione complessiva della sorgente standard). Si osserva che i rapporti risultano indicare variazioni di segno opposto, ovvero la sorgente di dimensioni più ridotte, con emissioni ravvicinate (e anche con emissioni specifiche maggiori) produce concentrazioni massime più elevate; la sorgente più estesa produce concentrazioni massime minori.

Si osserva infine come con l'aumentare della distanza dalla sorgente i rapporti di tutti i casi esaminati tendano ad uniformarsi all'unità.

Tabella 7: rapporti tra le concentrazioni massime orarie corrispondenti a diverse forme e dimensioni della sorgente, e le concentrazioni massime relative a quella standard (quadrata, lato=50 m).

distanza (m)	Rettangolare (30 m x 80.33 m)	Circolare (raggio = 35.36 m)	Quadrata (lato= 30 m)	Quadrata (lato= 70 m)
50	1.26	0.66	1.62	0.72
100	1.30	0.74	1.55	0.74
150	1.34	0.79	1.49	0.75
200	1.35	0.82	1.43	0.76
300	1.29	0.86	1.31	0.79
500	1.17	0.93	1.17	0.84

### 5.3. Variazione delle concentrazioni massime orarie al variare della distribuzione del particolato e della rugosità superficiale.

Infine in Tabella 8 sono riportati i rapporti tra le concentrazioni massime orarie al variare della distanza dalla sorgente, ottenute modificando la distribuzione della massa del particolato all'interno delle classi granulometriche. Le variazioni nella distribuzione della massa indagate si riferiscono all'incremento della componente PM2.5 a scapito di quella coarse: in un caso la componente PM2.5 passa dal 10% (delle simulazioni standard) al 25%, mentre si riduce la massa della classe di maggiore dimensione che passa dal 55% al 40%; nel secondo caso la frazione di massa attribuita alla componente PM2.5 viene ulteriormente incrementata arrivando al 35% del totale e viene corrispondentemente ridotta quella della classe di maggiore dimensione che scende al 30%; in entrambi i casi le frazioni attribuite alle classi intermedie si mantengono inalterate.

Le variazioni che si osservano nei valori massimi orari risultano dell'ordine di qualche punto percentuale, crescendo all'aumentare della distanza dalla sorgente; si arriva ad una variazione del 13% a 500 m per la condizione rurale e la distribuzione di massa con maggiore componente di PM2.5. Tutte le variazioni ottenute indicano, come atteso, un

incremento delle concentrazioni all'aumentare della componente più fine del particolato; infatti aumentando tale componente diminuisce generalmente la quantità di particolato depositata nell'interazione con il terreno ed aumenta quindi quella che si mantiene in aria.

Tutte le precedenti simulazioni sono state eseguite adeguando i file meteorologici con le grandezze necessarie (lunghezza di Monin – Obukhov, velocità di frizione) secondo la procedura precedentemente accennata, ed utilizzando una rugosità pari a 0.3 m.

Tabella 8: rapporti tra le concentrazioni massime orarie corrispondenti a diverse distribuzioni di massa nelle classi granulometriche, e le concentrazioni massime relative alla distribuzione standard (PM<sub>2.5</sub>=10%).

distanza (m)	Rurale (PM <sub>2.5</sub> =25%)	Rurale (PM <sub>2.5</sub> =35%)	Urbana (PM <sub>2.5</sub> =25%)	Urbana (PM <sub>2.5</sub> =35%)
50	1.01	1.02	1.01	1.01
100	1.02	1.03	1.01	1.02
150	1.03	1.05	1.02	1.03
200	1.04	1.06	1.02	1.03
300	1.05	1.09	1.02	1.03
500	1.08	1.13	1.02	1.04

Tutte le simulazioni nelle quali veniva considerato il fenomeno della deposizione sono state ripetute anche con un file meteorologico ottenuto come i precedenti, ma a partire da una rugosità pari a 0.1 m.

Si osserva quindi che per quanto riguarda la concentrazioni massime orarie alle diverse distanze dalla sorgente non si rilevano differenze al variare della rugosità tra 0.3 e 0.1 m.

## 6. Simulazioni con dati meteorologici reali

Come già anticipato il confronto tra concentrazioni stimate e valori limite per il PM10 richiede che venga valutato il 36° valore più elevato delle medie giornaliere all'interno di un anno. Le stime ottenute in precedenza fanno invece riferimento esclusivamente ai valori massimi giornalieri.

Per indagare sulle relazioni che possono sussistere tra valore massimo e 36° valore più elevato della concentrazione giornaliera è necessario effettuare simulazioni su dati meteorologici reali.

Per questo motivo sono stati utilizzati alcuni file di dati meteorologici, già disponibili per l'impiego del modello ISCST3, derivanti dalle misure effettuate nel corso degli anni presso alcune stazioni meteorologiche appartenenti alla rete di qualità dell'aria della Provincia di Firenze.

L'impiego di questi dati e l'effettuazione delle relative simulazioni permette di comprendere il grado di cautela che può essere assegnato ad una procedura di valutazione che confronta il valore massimo giornaliero con il limite. Inoltre l'impiego di dati reali permette di poter analizzare l'intera distribuzione dei dati delle medie giornaliere e di avere riscontri sulle precedenti stime semplificate. Infine l'impiego dei dati reali e l'analisi dei relativi risultati costituisce un riferimento importante considerando che i dati impiegati sono proprio quelli che con elevata probabilità sarebbero utilizzati in un contesto di valutazione dell'impatto in ambito di autorizzazione alle emissioni o di VIA.

Sono stati utilizzati 17 file di dati meteorologici annui, ripartiti come nella seguente Tabella 9. Tutte le simulazioni sono state effettuate ipotizzando condizioni rurali (anche se alcuni file meteorologici provenivano da una stazione di tipo urbano).<sup>10</sup>

Alcuni file erano affetti da numerosi dati mancanti. Per tutti i file annuali con più di 200 dati orari mancanti sono state eseguite le simulazioni relativamente ai valori massimi, ma non sono state prodotte le distribuzioni dei valori medi giornalieri. Queste sono state prodotte solo per le simulazioni relative agli 11 file meteorologici con meno di 200 dati orari mancanti.

Sono state effettuate simulazioni considerando i due valori di rugosità (0.3 e 0.1 m) ed inoltre impostando o meno il fenomeno della deposizione secca. Infine le simulazioni sono state eseguite anche considerando due condizioni emissive distinte: l'emissione continua sulle 24 ore per 365 giorni ogni anno, oppure l'emissione giornaliera ma limitata all'orario 8-17, ovvero soltanto sulle 10 ore di tale intervallo. Quest'ultima situazione, appare quella più realistica corrispondendo alla conduzione tipica delle attività industriali d'interesse.

Nelle Tabelle riportate in Appendice A, sono presentati i valori massimi delle concentrazioni ottenuti in tutte le simulazioni effettuate.

Nel seguito la discussione sarà incentrata in particolare sui risultati prodotti dalle simulazioni delle condizioni più realistiche, ovvero quelle su cui sono state valutate le distribuzioni delle concentrazioni medie giornaliere. Queste

---

<sup>10</sup> È stata effettuata anche una simulazione con condizioni urbane con il file relativo all'anno 1994 ed alla stazione di Firenze – Ximeniano.

simulazioni sono state effettuate assumendo condizioni rurali, un rateo di emissione nell'orario 8-17 di ogni giorno e considerando il fenomeno della deposizione secca.

Tabella 9: Riepilogo dei dati meteorologici utilizzati (in grassetto quelli sui quali è stata valutata la distribuzione delle medie giornaliere)

stazione	anno	N° di ore con dati mancanti
<b>Empoli – Riottoli (Provincia di Firenze)</b>	1994	88
Empoli – Riottoli (Provincia di Firenze)	1995	559
<b>Empoli – Riottoli (Provincia di Firenze)</b>	1996	102
Empoli – Riottoli (Provincia di Firenze)	1997	5762
Empoli – Riottoli (Provincia di Firenze)	1998	1445
Empoli – Riottoli (Provincia di Firenze)	1999	716
<b>Empoli – Riottoli (Provincia di Firenze)</b>	2000	13
<b>Empoli – Riottoli (Provincia di Firenze)</b>	2001	94
<b>Firenze – Ximeniano (Provincia di Firenze)</b>	1994	52
Firenze – Ximeniano (Provincia di Firenze)	1995	1102
<b>Firenze – Ximeniano (Provincia di Firenze)</b>	1996	85
Firenze – Ximeniano (Provincia di Firenze)	1997	1975
<b>Firenze – Ximeniano (Provincia di Firenze)</b>	1998	30
<b>Firenze – Ximeniano (Provincia di Firenze)</b>	1999	13
<b>Firenze – Ximeniano (Provincia di Firenze)</b>	2000	132
<b>Firenze – Ximeniano (Provincia di Firenze)</b>	2001	3
<b>Firenze – Ximeniano (Provincia di Firenze)</b>	2002	6

Si evidenzia innanzitutto come non sussista coincidenza spaziale tra il recettore cui corrisponde la massima concentrazione giornaliera e quello cui invece compete il 36° valore più elevato delle concentrazioni medie giornaliere durante l'anno.

In Tabella 10 sono riportate le concentrazioni massime giornaliere e il 36° valore più elevato di concentrazione media giornaliera ottenute con le simulazioni, per le distanze di 50 m, 100 m e 150 m dal centro della sorgente.

Nei valori delle concentrazioni si osserva una notevole variabilità, che appare solo in parte legata all'impiego di dati provenienti da stazioni meteorologiche diverse. Il file di dati meteorologici che produce i valori più alti corrisponde alla stazione di Firenze-Ximeniano per l'anno 1994.

Il coefficiente di variazione dei valori massimi giornalieri risulta compreso tra 0.12 e 0.15, mentre per il 36° valore più elevato il coefficiente di variazione sta tra 0.05 e 0.14. In pratica sia il 1° valore che il 36° hanno lo stesso coefficiente di variazione alla distanza di 150 m, mentre il 36° valore più elevato mostra una minore variabilità, rispetto al massimo, a 50 e 100 m di distanza.

**Tabella 10: Valori massimi giornalieri (1°) e 36° valore più elevato; simulazioni con sorgente standard (9000 g/h)**

stazione	anno	50 m		100 m		150 m	
		1°	36°	1°	36°	1°	36°
Empoli – Riottoli	1994	3033	1321	1744	544	1064	284
Empoli – Riottoli	1996	3623	1395	1807	589	913	301
Empoli – Riottoli	2000	3220	1261	1672	540	943	277
Empoli – Riottoli	2001	2637	1299	1523	510	877	250
Firenze – Ximeniano	1994	4607	1493	2363	673	1403	377
Firenze – Ximeniano	1996	3685	1395	1875	608	1094	320
Firenze – Ximeniano	1998	3468	1294	2030	595	1299	328
Firenze – Ximeniano	1999	3247	1332	1739	612	1076	339
Firenze – Ximeniano	2000	3950	1463	1771	620	1205	327
Firenze – Ximeniano	2001	3143	1385	1700	624	1048	359
Firenze – Ximeniano	2002	3673	1423	1943	659	1243	379

**Tabella 11: Rapporti tra i valori massimi giornalieri (1°) ed il 36° valore più elevato; simulazioni con sorgente standard**

stazione	anno	50 m	100 m	150 m
		Rapporto tra 1° e 36°	Rapporto tra 1° e 36°	Rapporto tra 1° e 36°
Empoli – Riottoli	1994	2.30	3.21	3.75
Empoli – Riottoli	1996	2.60	3.07	3.03
Empoli – Riottoli	2000	2.55	3.10	3.40
Empoli – Riottoli	2001	2.03	2.99	3.51
Firenze – Ximeniano	1994	3.09	3.51	3.72
Firenze – Ximeniano	1996	2.64	3.08	3.42
Firenze – Ximeniano	1998	2.68	3.41	3.96
Firenze – Ximeniano	1999	2.44	2.84	3.17
Firenze – Ximeniano	2000	2.70	2.86	3.69
Firenze – Ximeniano	2001	2.27	2.72	2.92
Firenze – Ximeniano	2002	2.58	2.95	3.28

Nella Tabella 11 sono riportati i valori dei rapporti tra la massima concentrazione giornaliera ed il 36° valore più elevato di questa, per le tre distanze dalle sorgente finora considerate.

Si osserva come questo rapporto tenda a crescere con la distanza dalla sorgente: per la distanza di 50 m copre l'intervallo tra 2.03 e 3.09; per 100 m si ha un intervallo tra 2.72 e 3.51, per 150 m si ha una variazione tra 2.92 e 3.96.

Come già fatto in precedenza, questi risultati devono essere completati considerando l'apporto dovuto alle concentrazioni di fondo dell'area d'interesse. In tal caso, la condizione di compatibilità o rispetto del limite è diretta (con ovvio significato dei simboli):

$$C(24)_{36^\circ} < C(24)_{\text{limite}} - C_{\text{FONDO}}$$

Da questa, considerando il flusso di massa utilizzato nelle simulazioni, pari a 9000 g/h, e prendendo in considerazione il massimo tra i valori del 36° valore più alto ottenuti nelle simulazioni, si possono ricavare le soglie di emissione riportate nella Tabella 12.

Tabella 12: soglie di emissione (in g/h) per il rispetto del limite di qualità dell'aria per le medie giornaliere (a 50, 100 e 150 m) al variare delle concentrazioni di fondo, considerando le condizioni meteorologiche reali (e la sorgente standard)

Soglie di emissione		$C_{\text{FONDO}}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )						distanza
		0	5	10	15	20	25	
Flusso di massa (g/h)	<	301	271	241	211	181	151	50 m
		669	602	535	468	401	334	100 m
		1187	1069	950	831	712	594	150 m

Tabella 13: Valori 1° e 36° valore più elevato a 50 m; simulazioni con le diverse sorgenti (9000 g/h)

Stazione	anno	Sorgente quadrata 30x30		Sorgente quadrata 70x70		Sorgente circolare	
		1°	36°	1°	36°	1°	36°
Empoli – Riottoli	1994	4381	1539	2664	1112	3153	1786
Empoli – Riottoli	1996	4989	1667	2668	1172	2947	1655
Empoli – Riottoli	2000	4378	1492	2672	1109	2466	1776
Empoli – Riottoli	2001	3844	1494	2393	1148	2545	1692
Firenze – Ximeniano	1994	6072	1850	3611	1360	3776	1755
Firenze – Ximeniano	1996	5025	1628	2873	1260	2976	1649
Firenze – Ximeniano	1998	4917	1708	2882	1145	3055	1667
Firenze – Ximeniano	1999	4522	1700	2798	1164	3083	1578
Firenze – Ximeniano	2000	4767	1719	3262	1368	3633	1840
Firenze – Ximeniano	2001	4322	1764	2620	1183	2913	1679
Firenze – Ximeniano	2002	4847	1739	2800	1218	3264	1719

Su questi valori il margine di cautela è estremamente ridotto: niente assicura infatti che condizioni meteorologiche annue o locali, diverse da quelle utilizzate, non possano portare a valori maggiori della 36° media giornaliera più elevata.

In Appendice A sono riportati i risultati di un ulteriore approfondimento effettuato per mezzo dei dati

meteorologici reali. In sostanza quanto prodotto con le simulazioni relative alla sorgente standard è stato ripetuto variandone la forma e la dimensione. Le distribuzioni dei valori massimi delle medie giornaliere sono state quindi ricavate per tutti i file meteorologici disponibili (11 file di dati) con altre tre sorgenti (analoghe a quelle di Tabella 7, quadrata 30x30, quadrata 70x70 e circolare).

In Appendice A sono anche presentate varie statistiche delle distribuzioni di medie giornaliere ottenute, mentre in Tabella 13 sono riportati per la distanza di 50 m il 1° ed il 36° valore più elevato, da confrontare con le corrispondenti colonne di Tabella 10.

Sinteticamente si osserva che, in termini di valori massimi, quelli corrispondenti alla sorgente quadrata più estesa ed alla sorgente circolare appaiono generalmente equivalenti, mentre quelli relativi alla sorgente quadrata meno estesa risultano sempre superiori, anche ovviamente rispetto alla sorgente standard (quadrata di dimensione intermedia). In termini invece del 36° valore più elevato, i dati riferiti alla sorgente circolare risultano tendenzialmente superiori rispetto a quelli ottenuti con le altre sorgenti.

Si segnala inoltre che anche per queste sorgenti i dati più elevati vengono quasi sempre a determinarsi in corrispondenza del file di dati meteorologici relativo alla stazione di Firenze-Ximeniano per l'anno 1994.

Tabella 14: 36° valore più elevato di media giornaliera; simulazioni con le diverse sorgenti (9000 g/h)

distanza	50 m		100 m		150 m	
sorgente	$C(24)_{36^\circ}$	Rapporto rispetto al valore della sorgente standard	$C(24)_{36^\circ}$	Rapporto rispetto al valore della sorgente standard	$C(24)_{36^\circ}$	Rapporto rispetto al valore della sorgente standard
Sorgente quadrata 30x30	1850	1.24	800	1.19	436	1.15
Sorgente quadrata 70x70	1368	0.92	601	0.89	341	0.90
Sorgente circolare	1840	1.23	862	1.28	442	1.17
Sorgente standard	1493	1.00	673	1.00	379	1.00

I valori delle soglie di emissione individuati inizialmente con il metodo di screening riferendosi al limite sulle concentrazioni annue, possono essere confrontati con quelli che potrebbero derivare dai risultati delle medie di lungo periodo ottenute nelle simulazioni con i dati reali.

Estraendo i valori massimi delle medie di periodo dalle 34 simulazioni annue effettuate con la sorgente standard, la deposizione, la durata di 10 ore delle attività e le condizioni rurali, si arrivano a definire i valori di soglia presentati nella successiva Tabella 15 per le distanze di 50, 100 e 150 m, al variare del valore di fondo.

Il confronto tra questi valori di soglia e quelli della Tabella 12 mostra in termini chiari come risulti decisamente meno restrittivo il valore limite relativo alle medie annue rispetto a quello relativo alle medie giornaliere, anche tenendo in

considerazione che quest'ultimo si riferisce al 35° valore più elevato.

Tabella 15: soglie di emissione (in g/h) per il rispetto del limite di qualità dell'aria per le medie annue (a 50, 100 e 150 m) al variare delle concentrazioni di fondo, considerando le condizioni meteorologiche reali (e la sorgente standard)

Soglie di emissione		$C_{FONDO}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )					distanza
		0	5	10	15	20	
Flusso di massa (g/h)	<	430	376	322	268	215	50 m
		1412	1235	1059	882	706	100 m
		2590	2266	1942	1619	1295	150 m



## 7. Discussione dei risultati

Nelle sezioni precedenti sono stati proposti alcuni metodi per stimare le concentrazioni di PM<sub>10</sub> sul territorio prodotte da emissioni di tipo diffuso. Inoltre, utilizzando alcuni set di dati meteorologici disponibili, sono state valutate le possibili ricadute di PM<sub>10</sub> ottenibili attraverso l'impiego esteso di un modello di dispersione.

I confronti tra le varie stime e i limiti di legge relativi a questo inquinante, hanno evidenziato come sia il valore limite di 50 µg/m<sup>3</sup> riferito alla trentaseiesima concentrazione media giornaliera più elevata di un intero anno a risultare maggiormente restrittivo, rispetto al limite di 40 µg/m<sup>3</sup> riferito alla media annua delle concentrazioni.

### 7.1. Soglie di emissione

A partire dalle stime effettuate è stato possibile definire delle soglie di emissione o flussi di massa massimi al di sotto dei quali è atteso il rispetto dei valori limite di qualità dell'aria, ed al di sopra dei quali vi è invece la possibilità di superare tali valori limite in qualche punto del territorio.

Le simulazioni effettuate con i dati meteorologici reali permettono di ottenere una valutazione del grado di cautela contenuto nei diversi approcci e metodi di stima.

Si ritiene necessario a questo punto confrontare e discutere i diversi risultati. Per questo preme iniziare dalle condizioni più limitanti ovvero dal valore limite per le medie giornaliere.

Si considerino, per fissare le idee, i risultati relativi alle condizioni e simulazioni in ambiente rurale, relative al recettore più colpito ovvero alla minima distanza dalla sorgente indicata in 50 m, con periodo di emissione pari a 10 ore/giorno. Sia inoltre fissato un valore della concentrazione di fondo pari a 20 µg/m<sup>3</sup> e si consideri la sorgente indicata come standard (di forma quadrata 50 m x 50 m).

Il valore massimo di emissione ammesso dai risultati delle simulazioni modellistiche (Tabella 12) considerando il 36° valore più elevato delle medie giornaliere, risulta pari a 181 g/h.

Le stime effettuate con i diversi metodi semplificati portano invece ai seguenti valori di soglia emissiva:

- 43 g/h (metodo US-EPA screening, con coefficiente intermedio pari a 0.4)
- 41 g/h (metodo di screening alternativo con emissione su 10 ore, Tabella 3)
- 49 g/h (metodo di screening alternativo con condizioni esclusivamente diurne, Tabella 4)
- 59 g/h (riferendo il limite al valore massimo giornaliero delle simulazioni con dati meteo reali)

Pur essendo evidente che niente assicura che la soglia di 181 g/h abbia un significato assoluto, nel senso che non possano presentarsi condizioni meteorologiche annue tali da determinare concentrazioni superiori a quelle da cui tale soglia è derivata, si osserva comunque che tra questa e le soglie ottenute con i metodi semplificati sussiste un fattore superiore a 3. Questo viene quindi a costituire l'ordine di grandezza dei fattori di cautela ottenibili con le precedenti stime

(almeno finché non vengano determinati valori alternativi attraverso le distribuzioni delle medie giornaliere).

Occorre però considerare che, come indicato nelle sezioni precedenti, i risultati dipendono dalla forma e dall'estensione della sorgente, per cui anche il valore di 181 g/h deve essere corretto se si ritiene di inglobare anche gli altri tipi di sorgente esaminati. Dai risultati (Tabella 14) deriva che un ulteriore fattore di cautela dell'ordine di 1.24 garantisce sotto questo aspetto per la distanza di 50 m (un fattore dell'ordine di 1.28 garantisce per quelle di 100 m, un fattore 1.17 è scelto per la distanza di 150 m; per distanze superiori si sceglie un fattore cautelativo pari a 1.30); questo porterebbe ad indicare un valore inferiore ai 145 g/h come soglia di emissione ammissibile.

Considerando i tipici fattori di emissione presenti in letteratura per questo tipo di attività<sup>11</sup> si osserva che un tale valore risulta difficilmente raggiungibile anche attuando imponenti sistemi di mitigazione.

Ciò significa anche che praticamente tutti gli impianti con questo tipo di lavorazioni risultano potenzialmente capaci di produrre impatti che in qualche punto del territorio portano al superamento dei valori limite di qualità dell'aria.

Tali considerazioni confermano da un lato la necessità di valutare opportunamente gli effetti dovuti a queste attività, e dall'altro indicano che queste, dove presenti o dove possano in futuro collocarsi, vanno a costituire un vincolo per una vasta area del territorio.

Da un punto di vista sostanziale, tenuto conto che i valori limite di qualità dell'aria per il PM10 sono espressamente definiti a protezione della salute umana, risulta fondamentale che all'interno del territorio soggetto alle ricadute di questo tipo di emissioni non siano presenti recettori sensibili (ovvero civili abitazioni o luoghi di usuale e prolungata permanenza della popolazione).

In virtù della notevole variabilità e riduzione delle concentrazioni con l'allontanarsi dalla sorgente, ciò può far prospettare l'utilizzo dei precedenti risultati anche per definire dei livelli di soglia emissiva variabili con la distanza, limitatamente ai casi in cui non siano presenti recettori sensibili all'interno delle fasce di territorio più vicine alla sorgente.

In tal caso, in analogia con quanto determinato per la distanza di 50 m, un valore di emissione da non superare per una distanza dell'ordine dei 100 m risulta pari a circa 312 g/h, mentre per una distanza dell'ordine dei 150 m il valore da non superare risulta di 608 g/h (dai dati in Tabella 12, ridotti per il fattore 1.17 per la forma e la dimensione della sorgente di Tabella 14). Alla distanza di 200 m si ottiene con lo stesso metodo un valore soglia dell'ordine degli 830 g/h.

Con il crescere della distanza riducendosi le concentrazioni, crescono in teoria questi valori di soglia. Bisogna tuttavia ricordare che tutte le aree più vicine, pur essendo per ipotesi evidentemente prive di recettori sensibili o di possibili recettori sensibili, possono essere soggette a concentrazioni superiori ai limiti di legge per la qualità dell'aria. Ad esempio il valore di soglia ora definito per la distanza di 150 m dalla sorgente, pari a 608 g/h, nell'ipotesi che non siano presenti recettori sensibili in questa fascia di territorio risulta sufficiente a garantire il rispetto del valore limite anche relativo alla media annua in un'ampia parte del territorio, ma non nelle immediate vicinanze della sorgente (si veda la Tabella 15). Ciò richiede quindi che questo processo di determinazione delle possibili soglie, in assenza di recettori, venga comunque

---

<sup>11</sup> AP-42 US-EPA, <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html> in particolare il capitolo 13.

concluso ad una certa distanza. La distanza a cui terminare questo processo appare arbitraria in assenza di un criterio guida. Si osserva comunque che il valore di soglia emissiva individuato per recettori oltre i 200 m di distanza dalla sorgente (cioè 830 g/h) non garantisce il rispetto del limite annuo di qualità dell'aria nella fascia di distanze inferiore a 100 m dalla sorgente, ovvero su di un'area di territorio già notevolmente estesa (superiore ad un ettaro), e quindi in mancanza di altri criteri tale valore può anche essere ragionevolmente impiegato per limitare le emissioni per tutte le distanze ancora maggiori.

Quanto evidenziato e specificato finora è riferito tuttavia alla particolare condizione esaminata, la quale copre comunque delle condizioni sufficientemente generali (terreno piano, condizioni rurali, attività o emissione limitata a non più di 10 ore al giorno).

In condizioni urbane le concentrazioni massime diminuiscono rispetto al caso rurale perché sono maggiori le capacità di dispersione dell'atmosfera; tuttavia occorre considerare che le concentrazioni di fondo sono generalmente più elevate a causa della concentrazione territoriale delle sorgenti. L'analisi con i dati meteorologici reali impostando condizioni urbane è stata molto più limitata, riducendosi ad esaminare un singolo caso (anche se relativo ai valori massimi più elevati ottenuti per il caso rurale; il confronto dei risultati ottenuti nelle due condizioni è esplicitato in Appendice A). Si ricorda anche che in ambito urbano inoltre è presumibile la presenza di recettori (o possibili recettori) a distanze relativamente modeste dalla sorgente, per cui difficilmente potranno essere impiegate delle soglie emissive variabili con la distanza. In ogni caso risulta cruciale la stima di un valore di fondo il quale in teoria potrebbe essere indicato per ciascuna località o macro area. Attualmente per l'area urbana fiorentina il valore di fondo per il PM10 risulta dell'ordine di almeno 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

A titolo indicativo per trattare il caso urbano si possono utilizzare i risultati riportati in Appendice A. La concentrazione relativa al 36° valore più elevato delle medie giornaliere risulta 870  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; considerando una concentrazione di fondo pari a 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , il fattore di riduzione da applicare all'emissione standard di 9000 g/h risulta pari a 43.5, e questo produce un valore massimo di emissione pari a 207 g/h per la sorgente standard. Se si applica lo stesso fattore di correzione per tener conto delle altre possibili forme e dimensioni esaminate (1.24) si ottiene per i 50 m di distanza dalla sorgente un valore di soglia emissiva dell'ordine dei 166 g/h, quindi non molto più elevato di quello ottenuto nel caso rurale. Valori più elevati delle soglie di emissione si ottengono invece con l'aumentare della distanza dalla sorgente, ad esempio per la distanza di 150 m si hanno circa 1304 g/h, un valore più che doppio rispetto a quello del caso rurale. Ovviamente i risultati dipendono molto dal valore scelto per la concentrazione di fondo.

## **7.2. PM2.5**

Alla luce delle previste future modifiche normative, con l'introduzione di un valore limite in termini di media annua per la componente più fine del particolato, ovvero il PM2.5, i risultati qui riportati possono essere utilizzati, con i necessari adeguamenti, anche per determinare soglie di emissione e impatti attesi per quanto riguarda tale inquinante. Al riguardo si ricorda che le emissioni di PM2.5 risultano per le attività ed emissioni in oggetto solo una frazione (tra circa il 10% ed il

40%) di quelle di PM<sub>10</sub>. Inoltre il futuro limite sarà riferito alla sola media annua e questo comporta una evidente semplificazione anche per le valutazioni e trattazioni modellistiche; per le stime possono quindi essere anche adattati i metodi semplificati utilizzati per le medie annue di PM<sub>10</sub>. Per questo, l'aspetto ancora maggiormente indefinito appare essere quello della stima delle concentrazioni di fondo.<sup>12</sup>

### **7.3. Elementi non considerati**

In molte delle attività con emissioni diffuse di polveri viene attuata quale misura di mitigazione quella di circondare l'area di emissione con barriere fisiche costituite in genere da vegetali o manufatti più o meno porosi o permeabili alle polveri. Gli effetti di tali barriere attualmente non possono essere efficacemente valutati tramite l'applicazione dei modelli di dispersione. Infatti la presenza di queste barriere produce una serie di effetti e fenomeni di difficile simulazione, quali variazioni locali delle grandezze che guidano la dispersione (grandezze che descrivono la turbolenza atmosferica ma anche quelle anemologiche) e l'interazione diretta del particolato emesso con questi ostacoli. Per questo le simulazioni su cui questo lavoro si è basato non considerano la presenza di eventuali barriere fisiche ai bordi dell'area di sorgente. Si segnala che sono disponibili pochi lavori scientifici nei quali viene affrontato questo tema.<sup>13</sup>

In modo simile rimangono ancora non completamente chiariti e quantificati gli effetti sui processi di deposizione del particolato prodotti da aree ricoperte da vegetazione.<sup>14</sup>

Vale la pena di ricordare anche che nelle simulazioni non sono stati considerati gli effetti di deposizione umida, ovvero la presenza di precipitazioni. Questo è un elemento che tende quindi a rendere conservative le stime prodotte relative alle concentrazioni medie annue.

### **7.4. Correzione probabilistica**

Quanto finora presentato ha come riferimento principale i risultati ottenuti nelle simulazioni effettuate impiegando i dati meteorologici reali. In queste si tiene conto del fenomeno della deposizione secca (ma non della deposizione umida) e si suppone che le emissioni intervengano nel periodo 8-17 (10 ore complessive) di ogni giorno.

I risultati sarebbero quindi ineccepibili per una attività che comporta emissioni su questo periodo giornaliero, per tutti i giorni dell'anno. Evidentemente possono esistere attività con questo tipo di emissione, ma in genere le attività sono limitate ad un numero di giorni compreso tra i 200 ed i 300 di ogni anno.

Uno dei metodi di stima semplificata riportato in sezione 4.5, permette di tener conto dell'effettiva durata delle attività nella stima delle concentrazioni annue. Ciononostante non risulta determinato quanto la limitazione della durata

<sup>12</sup> In effetti misure di PM<sub>2.5</sub> su periodi temporali sufficientemente estesi sono già presenti per l'area di Firenze, ma si riferiscono esclusivamente a siti urbani, di fondo o da traffico.

<sup>13</sup> Uno di questi è ad esempio: "Reduction of particle reentrainment using porous fence in front of dust samples", C-H Huang, C-I Lee, C-J Tsai, Journal of Environmental Engineering, pag. 1644-1648, december 2005.

<sup>14</sup> Si può vedere ad esempio "Reconciling fugitive dust emission inventories with ambient measurements", R. Countess; [www.epa.gov/ttn/chief/conference/ei12/fugdust/countess.pdf](http://www.epa.gov/ttn/chief/conference/ei12/fugdust/countess.pdf) e la bibliografia citata.

delle emissioni possa incidere in termini di concentrazioni e di rispetto dei limiti di qualità dell'aria, sia sull'intero periodo annuo che a maggior ragione per quanto riguarda il limite relativo al 36° valore più elevato delle medie giornaliere.

Per valutare questo aspetto una strada consiste nell'andare ad esaminare in dettaglio le caratteristiche meteorologiche dei giorni corrispondenti ai valori più elevati di concentrazione giornaliera, e da questa analisi dedurre, se possibile, considerazioni relative alla collocazione stagionale, mensile o alle particolarità di tali giorni. Questo approccio seppur possibile e senz'altro promettente in termini di conoscenza, ma costoso in termini di tempi di analisi, non garantisce tuttavia risultati applicabili al contesto d'interesse (dipendendo anche dai dati meteorologici stessi utilizzati nelle simulazioni).

Un approccio diverso, non informativo, ma completamente generale, è quello legato a considerazioni di natura probabilistica. Questo approccio è quello sviluppato in dettaglio in Appendice B attraverso due differenti metodi di valutazione statistico-probabilistica.

Rimandando al contenuto dell'appendice, si può sinteticamente osservare che se si considera una attività di 200 giorni l'anno, la probabilità che in questi si presentino i 36 giorni che danno luogo alle 36 concentrazioni giornaliere più elevate, risulta estremamente bassa. Conseguentemente assegnare a casi con attività lavorativa di 200 giorni l'anno la stessa soglia di emissione determinata ipotizzando un'attività su 365 giorni l'anno, risulta una misura fortemente cautelativa e che può essere ritenuta incongrua.

I metodi di analisi statistico-probabilistica adottati permettono di valutare questo tipo di probabilità e di definire delle procedure con le quali correggere le soglie di emissione in relazione alla durata delle attività emissive stesse.

Nella successiva Tabella 16 sono riportate le variazioni delle soglie di emissione suggerite al variare della durata in giorni dell'attività. Il criterio con cui questi valori sono stati determinati mantiene in ogni caso un elevato livello di garanzia e tutela rispetto alla possibilità di raggiungere il valore limite.

Tabella 16: proposta di soglie assolute di emissione di PM10 al variare del numero di giorni di attività

Numero di giorni di attività o emissione all'anno	Soglia di emissione di PM10 (g/h)
>300	145
300 ÷ 250	152
250 ÷ 200	158
200 ÷ 150	167
150 ÷ 100	180
<100	208

## 8. Conclusioni

Nelle sezioni precedenti sono state riportate numerose informazioni relativamente all'analisi e valutazione dell'impatto sull'ambiente prodotto da emissioni di tipo diffuso del particolato e più precisamente del PM10.

Le informazioni sono derivate dall'utilizzo di un modello di dispersione degli inquinanti in atmosfera; tra queste informazioni assumono particolare rilevanza quelle relative ai risultati che si ottengono utilizzando o meno certe opzioni o variando certe caratteristiche o impostando o meno certe scelte nelle simulazioni.

Tra i numerosi risultati ottenuti si ricordano in particolare i seguenti:

- Sono stati presentati e proposti dei metodi di stima semplificata dell'impatto, comunque fondati su simulazioni modellistiche, effettuate però con dati meteorologici standard di tipo fittizio, facilmente ricostruibili o che possono essere forniti a richiesta.
- È stato valutato il grado di garanzia o livello di cautela presente in questo tipo di stime semplificate, rispetto ai risultati ottenibili effettuando simulazioni modellistiche con set di dati meteorologici completi relativi ad aree della Provincia di Firenze.
- Sono stati derivati dei possibili valori di soglia di emissione di PM10 riferiti ai limiti di legge per la qualità dell'aria per questo inquinante. I valori individuati garantiscono cioè, nei limiti della validità delle applicazioni modellistiche ed in questo ambito, il rispetto dei limiti relativi alle concentrazioni in aria ambiente. In particolare assume rilevanza l'analisi fatta relativamente alla stima della distribuzione delle concentrazioni medie giornaliere da confrontarsi con il limite corrispondente ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).
- È stata valutata la variabilità delle concentrazioni stimate e delle relative soglie di emissione, al variare di una serie di caratteristiche spaziali e temporali della sorgente di emissione. Conseguentemente le soglie di emissione sono state valutate e corrette alla luce di questi risultati.
- Le soglie di emissione proposte sono state adeguate in modo da tenere in considerazione la durata delle attività di emissione.
- Infine sono state proposte delle procedure di valutazione dell'impatto delle emissioni diffuse di particolato che tengono conto dei valori di soglia individuati (si veda in particolare l'Appendice C). Su questo aspetto non tutte le situazioni possibili sono state analizzate con lo stesso dettaglio, per cui si ritiene auspicabile effettuare in futuro un approfondimento ed un miglioramento dei metodi e delle stime qui proposte per alcuni dei casi trattati (emissioni in ambito urbano, periodo di emissione giornaliero superiore alle 10 ore/giorno).

## Appendice A

### Valori delle concentrazioni ottenuti nelle simulazioni effettuate con dati meteorologici reali.

Nel seguito vengono riportati i risultati ottenuti nelle simulazioni effettuate con i dati meteorologici derivati dalle misure delle stazioni meteorologiche (Empoli – Riottoli e Firenze – Ximeniano) appartenenti alla Rete di rilevamento della Qualità dell'Aria della Provincia di Firenze.

Le Tabella A1 – A18 riportano rispettivamente i valori delle concentrazioni medie orarie massime, medie giornaliere massime e medie annue (o sul periodo), al variare della distanza dei recettori dalla sorgente. Per alcuni anni il numero di dati validi è piuttosto ridotto per cui i risultati assumono un significato limitato, in particolare quelli relativi alle medie di lungo periodo. Le concentrazioni sono riferite alla sorgente standard, in condizioni rurali con rateo di emissione pari a 9000 g/h.

Successivamente sono riportate le distribuzioni ordinate (decrescenti) delle medie giornaliere massime calcolate sui recettori al variare della distanza e della forma e dimensione della sorgente. Le diverse sorgenti utilizzate sono di forma quadrata con lato di 30 m, 50 m (sorgente definita come “standard”) e 70 m, e di forma circolare con raggio circa 35 m. Per tutte il flusso di massa complessivo cui si riferiscono i risultati di concentrazione è pari a 9000 g/h.

Assegnata la distanza, per ogni recettore (a tale distanza) le simulazioni producono una distribuzione di valori medi giornalieri (365 valori) i quali vengono ordinati in senso decrescente. Per ogni rango ovvero posizione nella distribuzione ordinata (tra 1 corrispondente al massimo e 365 corrispondente al valore minimo), viene individuato il valore di concentrazione massimo tra tutti i recettori. L'insieme ordinato (decrescente) di tali valori massimi è riportato nei grafici per ciascuna simulazione relativa ad uno degli anni di dati meteorologici disponibili (nel complesso 11 simulazioni annue per ciascuna sorgente).

Le Figure A1-A12 mostrano quindi l'andamento decrescente delle diverse distribuzioni per ranghi ottenute per le distanze di 50 m, 100 m e 150 m dalla sorgente (più precisamente dal centro della sorgente).

In Figura A13 è invece riportato il valore massimo di ogni rango relativo a tutte le simulazioni effettuate ed a tutti i tipi di sorgente, per le distanze più prossime (50 m, 100 m e 150 m).

Nella Tabella A19 sono riportati alcuni valori delle distribuzioni delle concentrazioni giornaliere: il valore massimo (1° valore più elevato), il 36° valore più elevato, quello da confrontare con il limite per la qualità dell'aria, ed infine la mediana della distribuzione (183° valore più elevato). In tabella sono riportati i valori minimi e massimi di questi indicatori ottenuti nelle 11 simulazioni effettuate con dati meteorologici reali, per tutti i tipi di sorgente presi in considerazione.

In Figura A14 sono riportati i valori massimi giornalieri e quelli del 36° valore più elevato della media giornaliera delle concentrazioni ottenute con il file meteorologico relativo alla stazione Firenze - Ximeniano anno 1994, ipotizzando condizioni di dispersione rurali e urbane e la sorgente standard. I risultati numerici ed i rapporti tra i valori corrispondenti alle stesse distanze sono riportati in Tabella A20.



Tabella A1: concentrazioni massime orarie (in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a 50 m dalla sorgente (sorgente standard con 9000 g/h di flusso di massa, condizioni rurali)

stazione	anno	n° dati mancanti	Senza deposizione		Deposizione secca			
			emissione 24 ore	emissione 8-17	emissione 24 ore, $z_0=0.1$	emissione 24 ore, $z_0=0.3$	emissione 8-17, $z_0=0.1$	emissione 8-17, $z_0=0.3$
empoli-riottoli	1994	88	15572	14989	15024	15024	14273	14273
empoli-riottoli	1995	559	15772	15144	15024	15024	13556	14408
empoli-riottoli	1996	102	15714	15154	14970	14970	14451	14451
empoli-riottoli	1997	5762	15616	14197	14883	14883	13556	13556
empoli-riottoli	1998	1445	15714	14956	14970	14970	14242	14242
empoli-riottoli	1999	716	15770	15472	15022	15022	14748	14748
empoli-riottoli	2000	13	15714	15472	14970	14970	14748	14748
empoli-riottoli	2001	94	15772	15558	15024	15024	14829	14829
firenze-ximeniano	1994	52		14675			13990	13990
firenze-ximeniano	1995	1102		15714			14970	14970
firenze-ximeniano	1996	85		15302			14588	14588
firenze-ximeniano	1997	1975		14022			13396	13396
firenze-ximeniano	1998	30		15144			14409	14408
firenze-ximeniano	1999	13		15306			14588	14588
firenze-ximeniano	2000	132	15772	15714	15024	15024	14970	14970
firenze-ximeniano	2001	3	15772	15772	15024	15024	15024	15024
firenze-ximeniano	2002	6	15772	15550	15024	15024	14816	14816

Tabella A2: concentrazioni massime giornaliere (in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a 50 m dalla sorgente (sorgente standard, 9000 g/h di flusso di massa, condizioni rurali)

stazione	anno	n° dati mancanti	Senza deposizione		Deposizione secca			
			emissione 24 ore	emissione 8-17	emissione 24 ore, $z_0=0.1$	emissione 24 ore, $z_0=0.3$	emissione 8-17, $z_0=0.1$	emissione 8-17, $z_0=0.3$
empoli-riottoli	1994	88	8073	3170	7751	7747	3033	3033
empoli-riottoli	1995	559	7370	3180	7083	7056	3054	3054
empoli-riottoli	1996	102	7492	3787	7169	7169	3623	3623
empoli-riottoli	1997	5762	6424	2966	6174	6171	2854	2853
empoli-riottoli	1998	1445	6254	2985	6030	6013	2891	2887
empoli-riottoli	1999	716	7175	3134	6870	6870	3003	3003
empoli-riottoli	2000	13	6944	3354	6646	6624	3220	3220
empoli-riottoli	2001	94	7318	2758	7035	7026	2637	2637
firenze-ximeniano	1994	52		4813			4607	4607
firenze-ximeniano	1995	1102		3184			3062	3061
firenze-ximeniano	1996	85		3826			3688	3685
firenze-ximeniano	1997	1975		3406			3265	3264
firenze-ximeniano	1998	30		3616			3481	3468
firenze-ximeniano	1999	13		3396			3248	3247
firenze-ximeniano	2000	132	10779	4127	10304	10304	3950	3950
firenze-ximeniano	2001	3	9803	3271	9391	9381	3145	3143
firenze-ximeniano	2002	6	8548	3831	8181	8180	3674	3673



Tabella A3: concentrazioni massime sul periodo (in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a 50 m dalla sorgente (sorgente standard con 9000 g/h di flusso di massa, condizioni rurali)

stazione	anno	n° dati mancanti	Senza deposizione		Deposizione secca			
			emissione 24 ore	emissione 8-17	emissione 24 ore, $z_0=0.1$	emissione 24 ore, $z_0=0.3$	emissione 8-17, $z_0=0.1$	emissione 8-17, $z_0=0.3$
empoli-riottoli	1994	88	2451	548	2353	2343	530	524
empoli-riottoli	1995	559	2089	474	2009	1999	459	453
empoli-riottoli	1996	102	2392	581	2301	2252	561	551
empoli-riottoli	1997	5762	2466	536	2359	2354	517	508
empoli-riottoli	1998	1445	2223	448	2136	2127	433	428
empoli-riottoli	1999	716	2271	429	2182	2151	483	476
empoli-riottoli	2000	13	2499	539	2401	2389	521	515
empoli-riottoli	2001	94	2425	520	2330	2317	502	497
firenze-ximeniano	1994	52		640			618	614
firenze-ximeniano	1995	1102		638			618	614
firenze-ximeniano	1996	85		587			568	564
firenze-ximeniano	1997	1975		581			563	559
firenze-ximeniano	1998	30		537			520	517
firenze-ximeniano	1999	13		548			530	525
firenze-ximeniano	2000	132	3661	636	3511	3509	615	611
firenze-ximeniano	2001	3	3305	549	3170	3158	531	527
firenze-ximeniano	2002	6	3557	580	3409	3396	561	556

Tabella A4: concentrazioni massime orarie (in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a 100 m dalla sorgente (sorgente standard con 9000 g/h di flusso di massa, condizioni rurali)

stazione	anno	n° dati mancanti	Senza deposizione		Deposizione secca			
			emissione 24 ore	emissione 8-17	emissione 24 ore, $z_0=0.1$	emissione 24 ore, $z_0=0.3$	emissione 8-17, $z_0=0.1$	emissione 8-17, $z_0=0.3$
empoli-riottoli	1994	88	13548	13226	12326	12326	12037	12037
empoli-riottoli	1995	559	13548	13150	12326	12326	11439	11955
empoli-riottoli	1996	102	13431	12799	12220	12220	11668	11668
empoli-riottoli	1997	5762	13414	12570	12216	12216	11439	11439
empoli-riottoli	1998	1445	13431	13145	12220	12220	11971	11971
empoli-riottoli	1999	716	13543	13123	12322	12322	11952	11952
empoli-riottoli	2000	13	13431	13123	12220	12220	11952	11952
empoli-riottoli	2001	94	13548	13298	12326	12326	12111	12111
firenze-ximeniano	1994	52		12695			11542	11542
firenze-ximeniano	1995	1102		13431			12220	12220
firenze-ximeniano	1996	85		13266			12071	12071
firenze-ximeniano	1997	1975		12541			11420	11420
firenze-ximeniano	1998	30		13226			12037	12037
firenze-ximeniano	1999	13		13276			12075	12075
firenze-ximeniano	2000	132	13548	13431	12326	12326	12220	12220
firenze-ximeniano	2001	3	13548	13548	12326	12326	12326	12326
firenze-ximeniano	2002	6	13548	13276	12326	12326	12075	12075

Tabella A5: concentrazioni massime giornaliere (in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a 100 m dalla sorgente (sorgente standard con 9000 g/h di flusso di massa, condizioni rurali)

stazione	anno	n° dati mancanti	Senza deposizione		Deposizione secca			
			emissione 24 ore	emissione 8-17	emissione 24 ore, $z_0=0.1$	emissione 24 ore, $z_0=0.3$	emissione 8-17, $z_0=0.1$	emissione 8-17, $z_0=0.3$
empoli-riottoli	1994	88	5551	1864	5145	5140	1744	1744
empoli-riottoli	1995	559	4452	1353	4096	4096	1427	1427
empoli-riottoli	1996	102	4207	1942	3907	3896	1807	1807
empoli-riottoli	1997	5762	3443	1573	3170	3170	1476	1475
empoli-riottoli	1998	1445	4010	1936	3672	3671	1829	1822
empoli-riottoli	1999	716	5547	1725	5065	5065	1625	1622
empoli-riottoli	2000	13	4014	1798	3681	3681	1672	1672
empoli-riottoli	2001	94	4624	1620	4288	4282	1539	1523
firenze-ximeniano	1994	52		2551			2363	2363
firenze-ximeniano	1995	1102		1934			1796	1796
firenze-ximeniano	1996	85		2006			1877	1875
firenze-ximeniano	1997	1975		2140			1998	1989
firenze-ximeniano	1998	30		2203			2052	2032
firenze-ximeniano	1999	13		1878			1740	1739
firenze-ximeniano	2000	132	6635	1912	6093	6092	1771	1771
firenze-ximeniano	2001	3	6659	1828	6125	6107	1702	1700
firenze-ximeniano	2002	6	6832	2101	6277	6277	1982	1943

Tabella A6: concentrazioni massime sul periodo (annue, in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a 100 m dalla sorgente (sorgente standard con 9000 g/h di flusso di massa, condizioni rurali)

stazione	anno	n° dati mancanti	Senza deposizione		Deposizione secca			
			emissione 24 ore	emissione 8-17	emissione 24 ore, $z_0=0.1$	emissione 24 ore, $z_0=0.3$	emissione 8-17, $z_0=0.1$	emissione 8-17, $z_0=0.3$
empoli-riottoli	1994	88	1243	212	1152	1145	200	196
empoli-riottoli	1995	559	1038	172	964	957	163	159
empoli-riottoli	1996	102	1171	218	1089	1074	205	198
empoli-riottoli	1997	5762	1200	192	1115	1106	180	175
empoli-riottoli	1998	1445	1070	162	994	987	153	150
empoli-riottoli	1999	716	1066	185	991	983	175	171
empoli-riottoli	2000	13	1195	206	1112	1102	195	190
empoli-riottoli	2001	94	1153	187	1071	1063	177	173
firenze-ximeniano	1994	52		272			255	252
firenze-ximeniano	1995	1102		259			244	240
firenze-ximeniano	1996	85		233			219	215
firenze-ximeniano	1997	1975		254			240	236
firenze-ximeniano	1998	30		228			215	212
firenze-ximeniano	1999	13		232			218	213
firenze-ximeniano	2000	132	2142	246	1976	1967	231	228
firenze-ximeniano	2001	3	2175	230	2009	1995	217	213
firenze-ximeniano	2002	6	2332	253	2151	2136	237	232

Tabella A7: concentrazioni massime orarie (in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a 150 m dalla sorgente (sorgente standard con 9000 g/h di flusso di massa, condizioni rurali)

stazione	anno	n° dati mancanti	Senza deposizione		Deposizione secca			
			emissione 24 ore	emissione 8-17	emissione 24 ore, $z_0=0.1$	emissione 24 ore, $z_0=0.3$	emissione 8-17, $z_0=0.1$	emissione 8-17, $z_0=0.3$
empoli-riottoli	1994	88	11243	11020	9832	9831	9640	9640
empoli-riottoli	1995	559	11243	10934	9832	9832	9367	9556
empoli-riottoli	1996	102	11132	10574	9748	9748	9251	9251
empoli-riottoli	1997	5762	11132	10700	9748	9748	9367	9367
empoli-riottoli	1998	1445	11132	11004	9748	9748	9637	9637
empoli-riottoli	1999	716	11237	10729	9826	9826	9396	9396
empoli-riottoli	2000	13	11132	10729	9748	9748	9396	9396
empoli-riottoli	2001	94	11243	10971	9832	9831	9607	9607
firenze-ximeniano	1994	52		10807			9447	9447
firenze-ximeniano	1995	1102		11080			9689	9689
firenze-ximeniano	1996	85		11094			9703	9703
firenze-ximeniano	1997	1975		10519			9207	9207
firenze-ximeniano	1998	30		11020			9640	9640
firenze-ximeniano	1999	13		11120			9723	9723
firenze-ximeniano	2000	132	11243	11080	9832	9832	9689	9689
firenze-ximeniano	2001	3	11243	11243	9832	9832	9832	9832
firenze-ximeniano	2002	6	11243	11120	9832	9831	9723	9723

Tabella A8: concentrazioni massime giornaliere (in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a 150 m dalla sorgente (sorgente standard con 9000 g/h di flusso di massa, condizioni rurali)

stazione	anno	n° dati mancanti	Senza deposizione		Deposizione secca			
			emissione 24 ore	emissione 8-17	emissione 24 ore, $z_0=0.1$	emissione 24 ore, $z_0=0.3$	emissione 8-17, $z_0=0.1$	emissione 8-17, $z_0=0.3$
empoli-riottoli	1994	88	3528	1159	3193	3188	1064	1064
empoli-riottoli	1995	559	3201	798	2847	2847	859	859
empoli-riottoli	1996	102	3129	1001	2808	2804	913	913
empoli-riottoli	1997	5762	2336	917	2090	2089	846	845
empoli-riottoli	1998	1445	2740	1201	2417	2417	1118	1112
empoli-riottoli	1999	716	3987	1117	3505	3505	1035	1033
empoli-riottoli	2000	13	2882	1041	2547	2547	943	943
empoli-riottoli	2001	94	3182	949	2867	2864	890	877
firenze-ximeniano	1994	52		1544			1403	1403
firenze-ximeniano	1995	1102		1254			1136	1136
firenze-ximeniano	1996	85		1227			1130	1094
firenze-ximeniano	1997	1975		1354			1242	1237
firenze-ximeniano	1998	30		1451			1318	1299
firenze-ximeniano	1999	13		1191			1076	1076
firenze-ximeniano	2000	132	5178	1355	4594	4593	1205	1205
firenze-ximeniano	2001	3	4593	1166	4087	4070	1050	1048
firenze-ximeniano	2002	6	5358	1373	4745	4745	1275	1243

Tabella A9: concentrazioni massime sul periodo (annue, in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a 150 m dalla sorgente (sorgente standard con 9000 g/h di flusso di massa, condizioni rurali)

stazione	anno	n° dati mancanti	Senza deposizione		Deposizione secca			
			emissione 24 ore	emissione 8-17	emissione 24 ore, $z_0=0.1$	emissione 24 ore, $z_0=0.3$	emissione 8-17, $z_0=0.1$	emissione 8-17, $z_0=0.3$
empoli-riottoli	1994	88	727	108	655	650	100	98
empoli-riottoli	1995	559	615	88	556	551	82	80
empoli-riottoli	1996	102	677	111	612	602	103	98
empoli-riottoli	1997	5762	717	98	648	643	91	88
empoli-riottoli	1998	1445	625	81	564	559	75	73
empoli-riottoli	1999	716	602	96	545	539	89	86
empoli-riottoli	2000	13	680	106	616	609	99	96
empoli-riottoli	2001	94	667	93	603	598	87	84
firenze-ximeniano	1994	52		151			139	136
firenze-ximeniano	1995	1102		138			128	125
firenze-ximeniano	1996	85		121			112	109
firenze-ximeniano	1997	1975		138			128	126
firenze-ximeniano	1998	30		126			117	115
firenze-ximeniano	1999	13		129			119	116
firenze-ximeniano	2000	132	1372	123	1225	1218	114	111
firenze-ximeniano	2001	3	1516	123	1357	1345	114	112
firenze-ximeniano	2002	6	1625	139	1451	1439	128	125

Tabella A10: concentrazioni massime orarie (in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a 200 m dalla sorgente (sorgente standard con 9000 g/h di flusso di massa, condizioni rurali)

stazione	anno	n° dati mancanti	Senza deposizione		Deposizione secca			
			emissione 24 ore	emissione 8-17	emissione 24 ore, $z_0=0.1$	emissione 24 ore, $z_0=0.3$	emissione 8-17, $z_0=0.1$	emissione 8-17, $z_0=0.3$
empoli-riottoli	1994	88	9334	9122	7884	7884	7706	7706
empoli-riottoli	1995	559	9334	9056	7884	7884	7627	7647
empoli-riottoli	1996	102	9272	8848	7832	7831	7482	7482
empoli-riottoli	1997	5762	9242	9015	7820	7820	7627	7627
empoli-riottoli	1998	1445	9272	9176	7831	7831	7764	7764
empoli-riottoli	1999	716	9326	8787	7877	7877	7433	7433
empoli-riottoli	2000	13	9274	8952	7833	7833	7571	7571
empoli-riottoli	2001	94	9334	9048	7884	7884	7656	7656
firenze-ximeniano	1994	52		9105			7689	7689
firenze-ximeniano	1995	1102		9138			7718	7718
firenze-ximeniano	1996	85		9226			7793	7793
firenze-ximeniano	1997	1975		8609			7277	7276
firenze-ximeniano	1998	30		9122			7707	7706
firenze-ximeniano	1999	13		9272			7831	7831
firenze-ximeniano	2000	132	9334	9138	7884	7884	7719	7718
firenze-ximeniano	2001	3	9334	9334	7884	7884	7884	7884
firenze-ximeniano	2002	6	9334	9272	7884	7884	7831	7831

Tabella A11: concentrazioni massime giornaliere (in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a 200 m dalla sorgente (sorgente standard con 9000 g/h di flusso di massa, condizioni rurali)

stazione	anno	n° dati mancanti	Senza deposizione		Deposizione secca			
			emissione 24 ore	emissione 8-17	emissione 24 ore, $z_0=0.1$	emissione 24 ore, $z_0=0.3$	emissione 8-17, $z_0=0.1$	emissione 8-17, $z_0=0.3$
empoli-riottoli	1994	88	2512	763	2228	2224	691	691
empoli-riottoli	1995	559	2282	557	1969	1969	557	557
empoli-riottoli	1996	102	2264	619	1976	1973	544	544
empoli-riottoli	1997	5762	1790	597	1523	1523	540	540
empoli-riottoli	1998	1445	1765	777	1498	1498	716	712
empoli-riottoli	1999	716	2774	767	2360	2360	703	702
empoli-riottoli	2000	13	2036	648	1741	1741	584	569
empoli-riottoli	2001	94	2169	633	1909	1908	585	551
firenze-ximeniano	1994	52		1005			901	901
firenze-ximeniano	1995	1102		867			769	769
firenze-ximeniano	1996	85		838			762	734
firenze-ximeniano	1997	1975		921			833	830
firenze-ximeniano	1998	30		1027			913	898
firenze-ximeniano	1999	13		880			776	776
firenze-ximeniano	2000	132	3991	1028	3436	3436	887	887
firenze-ximeniano	2001	3	3374	832	2878	2869	730	729
firenze-ximeniano	2002	6	4134	942	3547	3543	860	845

Tabella A12: concentrazioni massime sul periodo (annue, in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a 200 m dalla sorgente (sorgente standard con 9000 g/h di flusso di massa, condizioni rurali)

stazione	anno	n° dati mancanti	Senza deposizione		Deposizione secca			
			emissione 24 ore	emissione 8-17	emissione 24 ore, $z_0=0.1$	emissione 24 ore, $z_0=0.3$	emissione 8-17, $z_0=0.1$	emissione 8-17, $z_0=0.3$
empoli-riottoli	1994	88	474	65	417	413	60	58
empoli-riottoli	1995	559	405	54	357	354	49	48
empoli-riottoli	1996	102	438	66	387	382	61	57
empoli-riottoli	1997	5762	472	60	417	413	55	52
empoli-riottoli	1998	1445	402	49	355	352	45	43
empoli-riottoli	1999	716	382	58	338	335	53	52
empoli-riottoli	2000	13	437	64	387	383	59	57
empoli-riottoli	2001	94	432	56	381	377	52	50
firenze-ximeniano	1994	52		95			86	85
firenze-ximeniano	1995	1102		85			78	76
firenze-ximeniano	1996	85		74			67	66
firenze-ximeniano	1997	1975		86			79	77
firenze-ximeniano	1998	30		80			73	72
firenze-ximeniano	1999	13		82			74	73
firenze-ximeniano	2000	132	947	74	822	817	68	66
firenze-ximeniano	2001	3	1095	76	953	944	70	68
firenze-ximeniano	2002	6	1182	87	1025	1016	79	77

Tabella A13: concentrazioni massime orarie (in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a 300 m dalla sorgente (sorgente standard con 9000 g/h di flusso di massa, condizioni rurali)

stazione	anno	n° dati mancanti	Senza deposizione		Deposizione secca			
			emissione 24 ore	emissione 8-17	emissione 24 ore, $z_0=0.1$	emissione 24 ore, $z_0=0.3$	emissione 8-17, $z_0=0.1$	emissione 8-17, $z_0=0.3$
empoli-riottoli	1994	88	6690	6452	5330	5330	5141	5141
empoli-riottoli	1995	559	6690	6554	5330	5330	5234	5234
empoli-riottoli	1996	102	6672	6470	5315	5315	5073	5167
empoli-riottoli	1997	5762	6624	6554	5291	5291	5234	5234
empoli-riottoli	1998	1445	6672	6602	5315	5315	5273	5272
empoli-riottoli	1999	716	6681	6477	5323	5322	5173	5173
empoli-riottoli	2000	13	6672	6485	5315	5315	5179	5179
empoli-riottoli	2001	94	6690	6387	5330	5330	5101	5101
firenze-ximeniano	1994	52		6620			5274	5273
firenze-ximeniano	1995	1102		6452			5141	5141
firenze-ximeniano	1996	85		6596			5255	5255
firenze-ximeniano	1997	1975		6277			4999	4998
firenze-ximeniano	1998	30		6452			5141	5141
firenze-ximeniano	1999	13		6672			5315	5315
firenze-ximeniano	2000	132	6690	6614	5330	5330	5269	5269
firenze-ximeniano	2001	3	6690	6690	5330	5330	5330	5330
firenze-ximeniano	2002	6	6690	6672	5330	5330	5315	5315

Tabella A14: concentrazioni massime giornaliere (in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a 300 m dalla sorgente (sorgente standard con 9000 g/h di flusso di massa, condizioni rurali)

stazione	anno	n° dati mancanti	Senza deposizione		Deposizione secca			
			emissione 24 ore	emissione 8-17	emissione 24 ore, $z_0=0.1$	emissione 24 ore, $z_0=0.3$	emissione 8-17, $z_0=0.1$	emissione 8-17, $z_0=0.3$
empoli-riottoli	1994	88	1528	411	1304	1301	340	340
empoli-riottoli	1995	559	1428	322	1147	1147	287	275
empoli-riottoli	1996	102	1338	407	1116	1114	331	331
empoli-riottoli	1997	5762	1112	330	896	896	274	274
empoli-riottoli	1998	1445	1162	393	931	931	359	355
empoli-riottoli	1999	716	1550	415	1247	1247	373	373
empoli-riottoli	2000	13	1131	392	922	922	327	326
empoli-riottoli	2001	94	1197	340	999	999	310	290
firenze-ximeniano	1994	52		526			448	448
firenze-ximeniano	1995	1102		510			429	429
firenze-ximeniano	1996	85		451			403	386
firenze-ximeniano	1997	1975		502			446	444
firenze-ximeniano	1998	30		592			506	497
firenze-ximeniano	1999	13		541			457	457
firenze-ximeniano	2000	132	2468	640	2020	2020	525	524
firenze-ximeniano	2001	3	2094	502	1701	1700	420	420
firenze-ximeniano	2002	6	2725	526	2216	2213	462	462

Tabella A15: concentrazioni massime sul periodo (annue, in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a 300 m dalla sorgente (sorgente standard con 9000 g/h di flusso di massa, condizioni rurali)

stazione	anno	n° dati mancanti	Senza deposizione		Deposizione secca			
			emissione 24 ore	emissione 8-17	emissione 24 ore, $z_0=0.1$	emissione 24 ore, $z_0=0.3$	emissione 8-17, $z_0=0.1$	emissione 8-17, $z_0=0.3$
empoli-riottoli	1994	88	248	31	209	208	28	27
empoli-riottoli	1995	559	214	26	182	180	24	23
empoli-riottoli	1996	102	231	32	197	193	28	27
empoli-riottoli	1997	5762	249	29	211	210	26	25
empoli-riottoli	1998	1445	210	23	178	177	21	20
empoli-riottoli	1999	716	199	28	169	168	25	24
empoli-riottoli	2000	13	228	31	195	193	28	27
empoli-riottoli	2001	94	224	27	190	188	25	23
firenze-ximeniano	1994	52		47			42	41
firenze-ximeniano	1995	1102		42			38	37
firenze-ximeniano	1996	85		36			32	31
firenze-ximeniano	1997	1975		42			38	37
firenze-ximeniano	1998	30		40			36	35
firenze-ximeniano	1999	13		42			37	36
firenze-ximeniano	2000	132	532	37	441	438	33	32
firenze-ximeniano	2001	3	637	37	530	524	34	33
firenze-ximeniano	2002	6	697	44	577	571	39	38

Tabella A16: concentrazioni massime orarie (in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a 500 m dalla sorgente (sorgente standard con 9000 g/h di flusso di massa, condizioni rurali)

stazione	anno	n° dati mancanti	Senza deposizione		Deposizione secca			
			emissione 24 ore	emissione 8-17	emissione 24 ore, $z_0=0.1$	emissione 24 ore, $z_0=0.3$	emissione 8-17, $z_0=0.1$	emissione 8-17, $z_0=0.3$
empoli-riottoli	1994	88	3847	3799	2804	2803	2778	2778
empoli-riottoli	1995	559	3847	3799	2804	2803	2757	2778
empoli-riottoli	1996	102	3845	3772	2802	2802	2749	2755
empoli-riottoli	1997	5762	3809	3799	2786	2784	2778	2778
empoli-riottoli	1998	1445	3845	3803	2802	2802	2782	2781
empoli-riottoli	1999	716	3845	3746	2802	2802	2770	2770
empoli-riottoli	2000	13	3845	3734	2802	2802	2730	2730
empoli-riottoli	2001	94	3847	3650	2804	2803	2669	2669
firenze-ximeniano	1994	52		3837			2796	2796
firenze-ximeniano	1995	1102		3783			2756	2756
firenze-ximeniano	1996	85		3765			2743	2743
firenze-ximeniano	1997	1975		3783			2756	2755
firenze-ximeniano	1998	30		3719			2710	2709
firenze-ximeniano	1999	13		3845			2802	2801
firenze-ximeniano	2000	132	3847	3834	2804	2804	2794	2793
firenze-ximeniano	2001	3	3847	3847	2804	2804	2804	2804
firenze-ximeniano	2002	6	3847	3845	2803	2803	2801	2801



Tabella A17: concentrazioni massime giornaliere (in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a 500 m dalla sorgente (sorgente standard con 9000 g/h di flusso di massa, condizioni rurali)

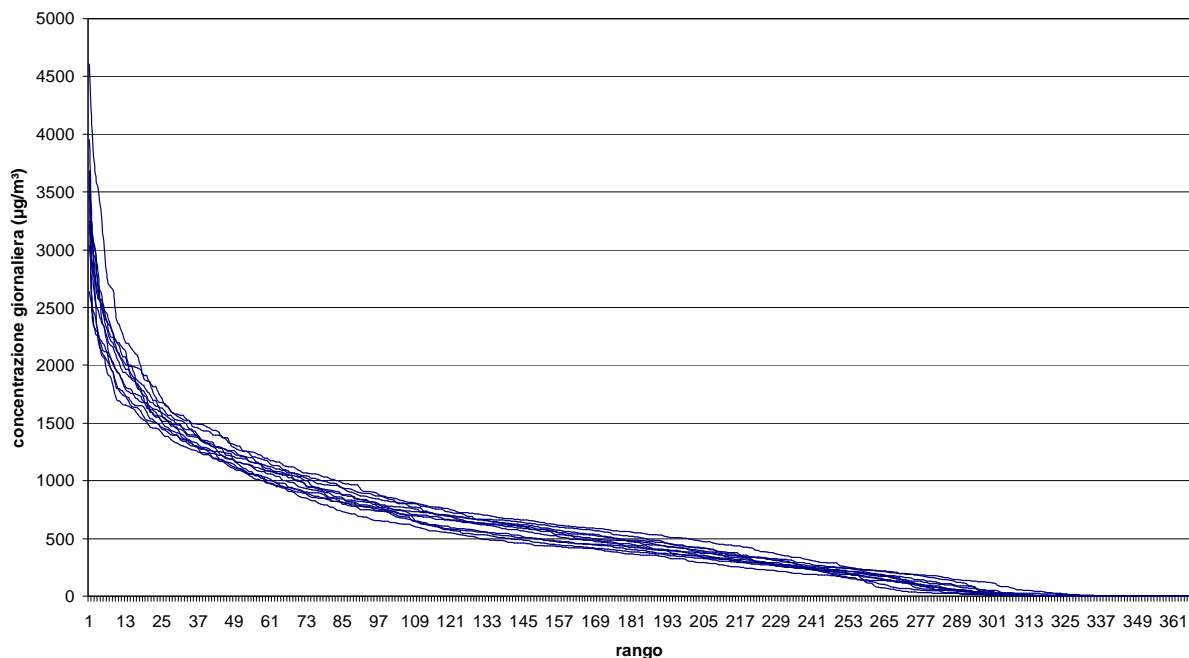
stazione	anno	n° dati mancanti	Senza deposizione		Deposizione secca			
			emissione 24 ore	emissione 8-17	emissione 24 ore, $z_0=0.1$	emissione 24 ore, $z_0=0.3$	emissione 8-17, $z_0=0.1$	emissione 8-17, $z_0=0.3$
empoli-riottoli	1994	88	578	214	577	576	161	161
empoli-riottoli	1995	559	709	179	522	523	137	136
empoli-riottoli	1996	102	660	218	514	513	162	162
empoli-riottoli	1997	5762	509	181	381	381	137	137
empoli-riottoli	1998	1445	615	189	451	451	152	150
empoli-riottoli	1999	716	719	194	530	530	158	158
empoli-riottoli	2000	13	566	194	430	430	152	152
empoli-riottoli	2001	94	602	180	467	467	140	140
firenze-ximeniano	1994	52		260			203	203
firenze-ximeniano	1995	1102		250			196	196
firenze-ximeniano	1996	85		221			170	169
firenze-ximeniano	1997	1975		221			190	190
firenze-ximeniano	1998	30		270			218	213
firenze-ximeniano	1999	13		269			213	213
firenze-ximeniano	2000	132	1173	311	941	939	235	235
firenze-ximeniano	2001	3	1084	252	804	804	196	196
firenze-ximeniano	2002	6	1404	248	1062	1058	200	200

Tabella A18: concentrazioni massime sul periodo (annue, in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a 500 m dalla sorgente (sorgente standard con 9000 g/h di flusso di massa, condizioni rurali)

stazione	anno	n° dati mancanti	Senza deposizione		Deposizione secca			
			emissione 24 ore	emissione 8-17	emissione 24 ore, $z_0=0.1$	emissione 24 ore, $z_0=0.3$	emissione 8-17, $z_0=0.1$	emissione 8-17, $z_0=0.3$
empoli-riottoli	1994	88	105	12	83	82	11	10
empoli-riottoli	1995	559	92	10	73	72	9	9
empoli-riottoli	1996	102	99	13	79	78	11	10
empoli-riottoli	1997	5762	105	12	84	84	10	10
empoli-riottoli	1998	1445	88	9	70	70	8	8
empoli-riottoli	1999	716	83	11	67	66	10	9
empoli-riottoli	2000	13	97	12	78	77	11	10
empoli-riottoli	2001	94	95	11	76	75	9	9
firenze-ximeniano	1994	52		19			16	16
firenze-ximeniano	1995	1102		17			15	15
firenze-ximeniano	1996	85		14			12	12
firenze-ximeniano	1997	1975		17			15	14
firenze-ximeniano	1998	30		16			14	14
firenze-ximeniano	1999	13		18			15	15
firenze-ximeniano	2000	132	240	15	185	184	13	12
firenze-ximeniano	2001	3	294	15	228	225	13	13
firenze-ximeniano	2002	6	323	18	249	246	15	15

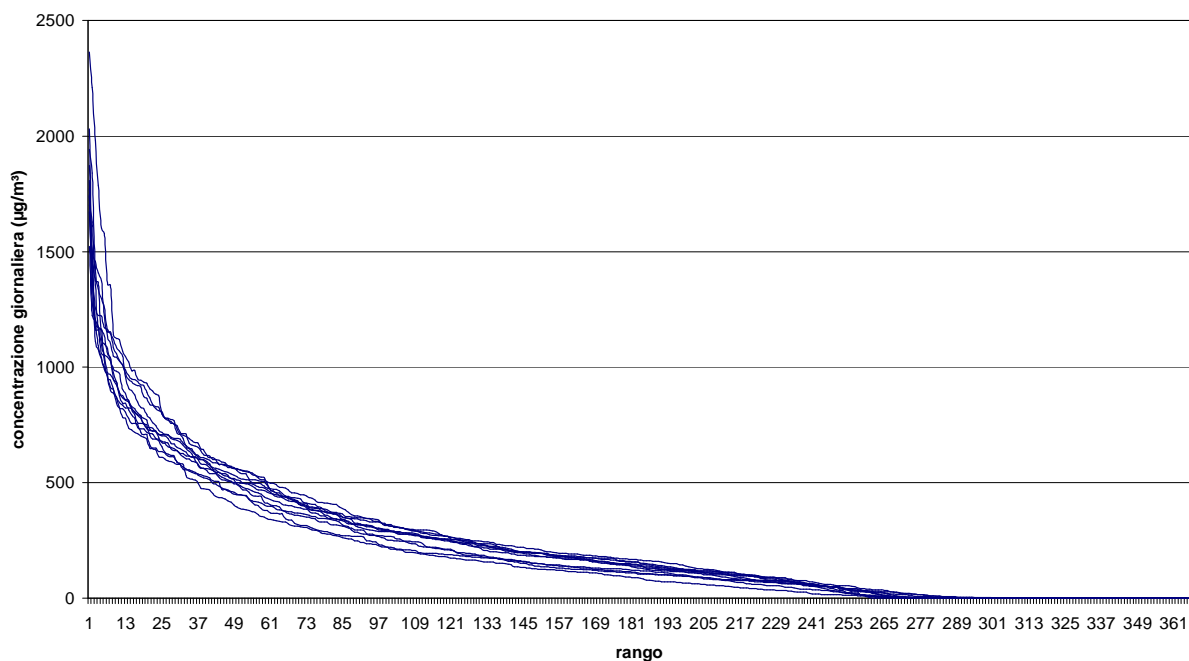


**sorgente standard, distanza = 50 m**



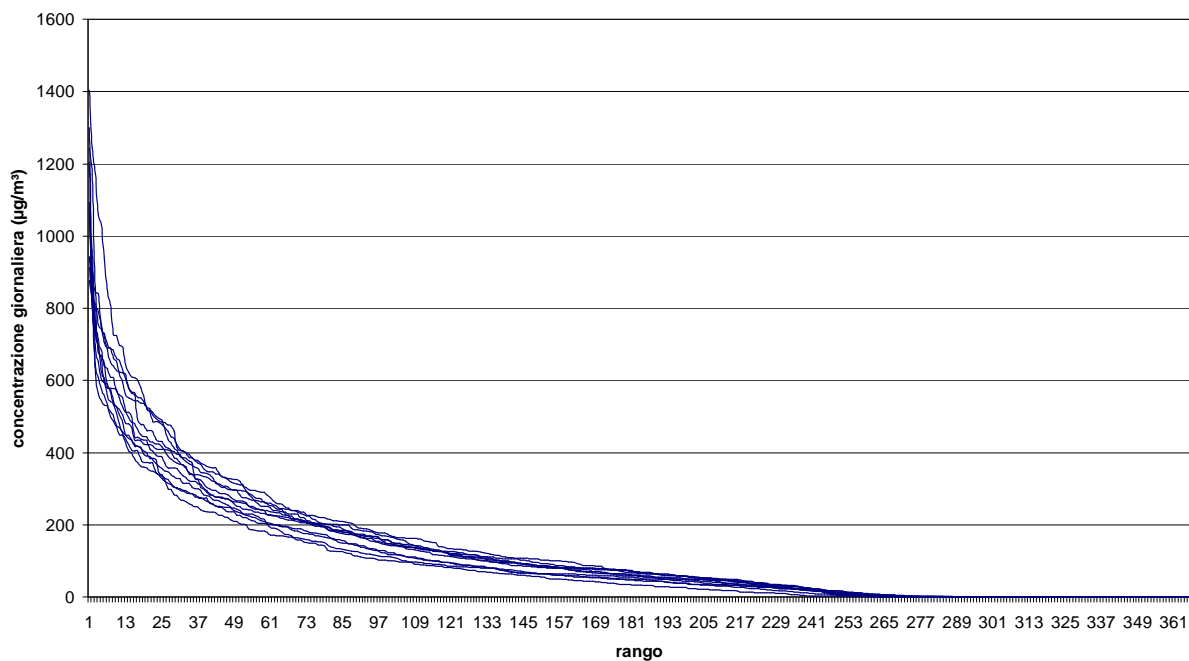
**Figura A1:** distribuzioni ordinate in senso decrescente delle concentrazioni massime giornaliere sui recettori a distanza 50 m dalla sorgente standard (quadrata 50 m x 50 m), per tutte le simulazioni effettuate.

**sorgente standard, distanza = 100 m**



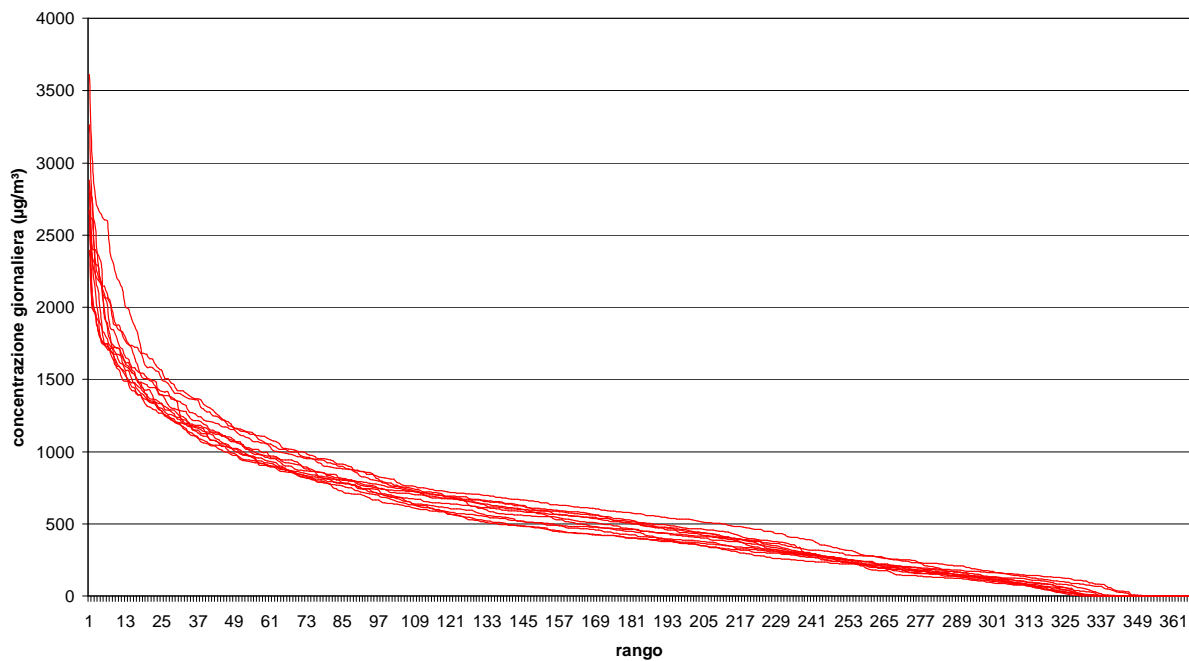
**Figura A2:** distribuzioni ordinate in senso decrescente delle concentrazioni massime giornaliere sui recettori a distanza 100 m dalla sorgente standard (quadrata 50 m x 50 m), per tutte le simulazioni effettuate.

sorgente standard, distanza = 150 m



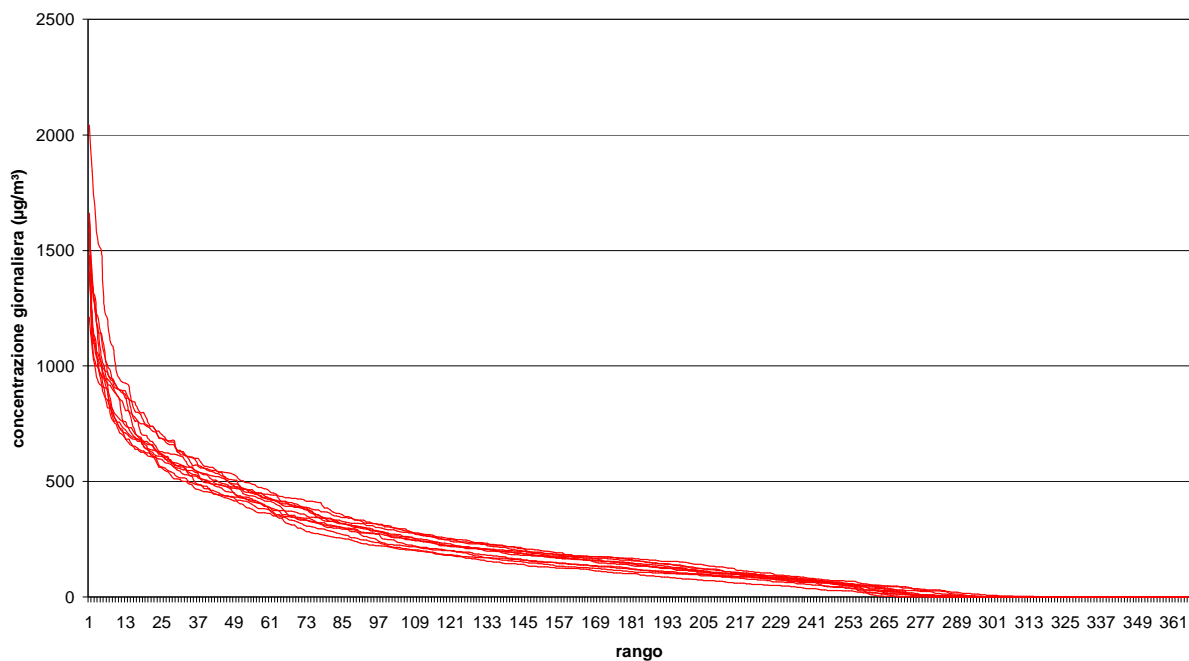
**Figura A3:** distribuzioni ordinate in senso decrescente delle concentrazioni massime giornaliere sui recettori a distanza 150 m dalla sorgente standard (quadrata 50 m x 50 m), per tutte le simulazioni effettuate.

sorgente quadrata 70x70, distanza = 50 m



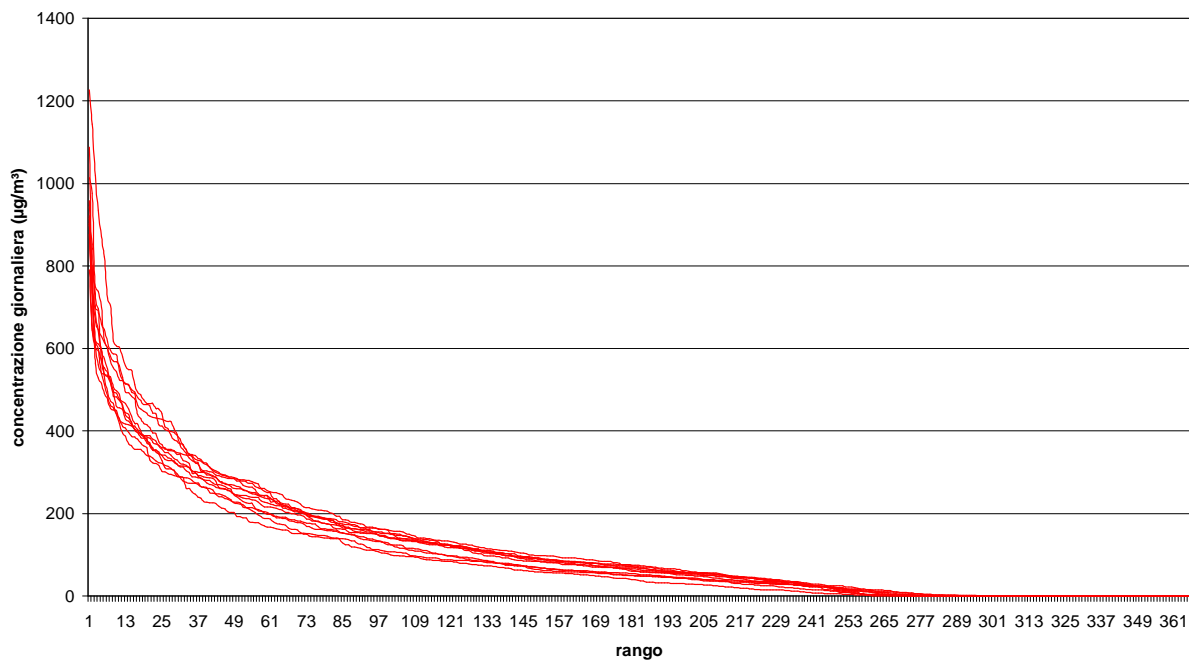
**Figura A4:** distribuzioni ordinate in senso decrescente delle concentrazioni massime giornaliere sui recettori a distanza 50 m dalla sorgente, quadrata 70 m x 70 m, per tutte le simulazioni effettuate.

sorgente quadrata 70x70, distanza = 100 m



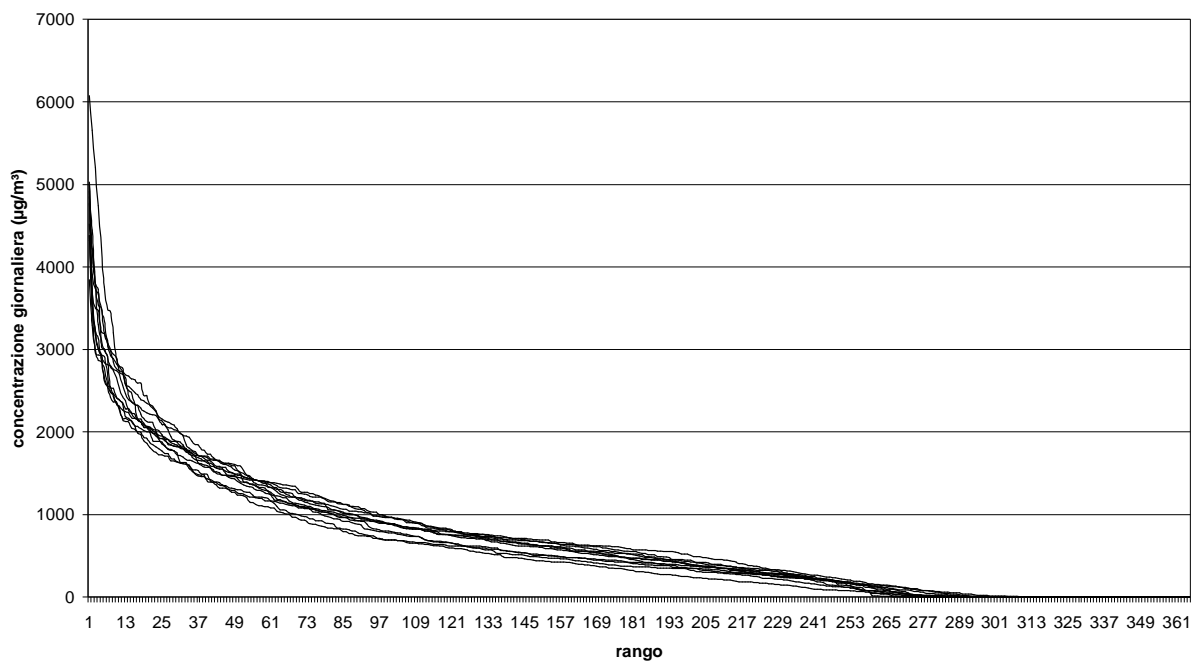
**Figura A5:** distribuzioni ordinate in senso decrescente delle concentrazioni massime giornaliere sui recettori a distanza 100 m dalla sorgente, quadrata 70 m x 70 m, per tutte le simulazioni effettuate.

sorgente quadrata 70x70, distanza = 150 m



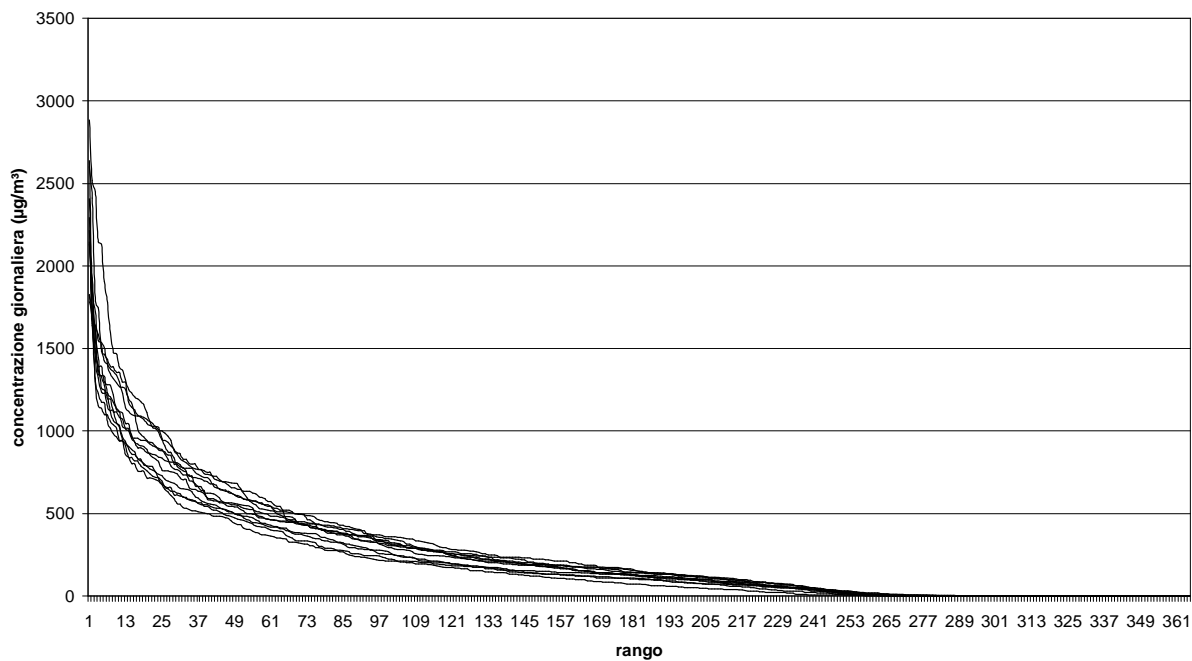
**Figura A6:** distribuzioni ordinate in senso decrescente delle concentrazioni massime giornaliere sui recettori a distanza 150 m dalla sorgente, quadrata 70 m x 70 m, per tutte le simulazioni effettuate.

sorgente quadrata 30x30, distanza = 50 m



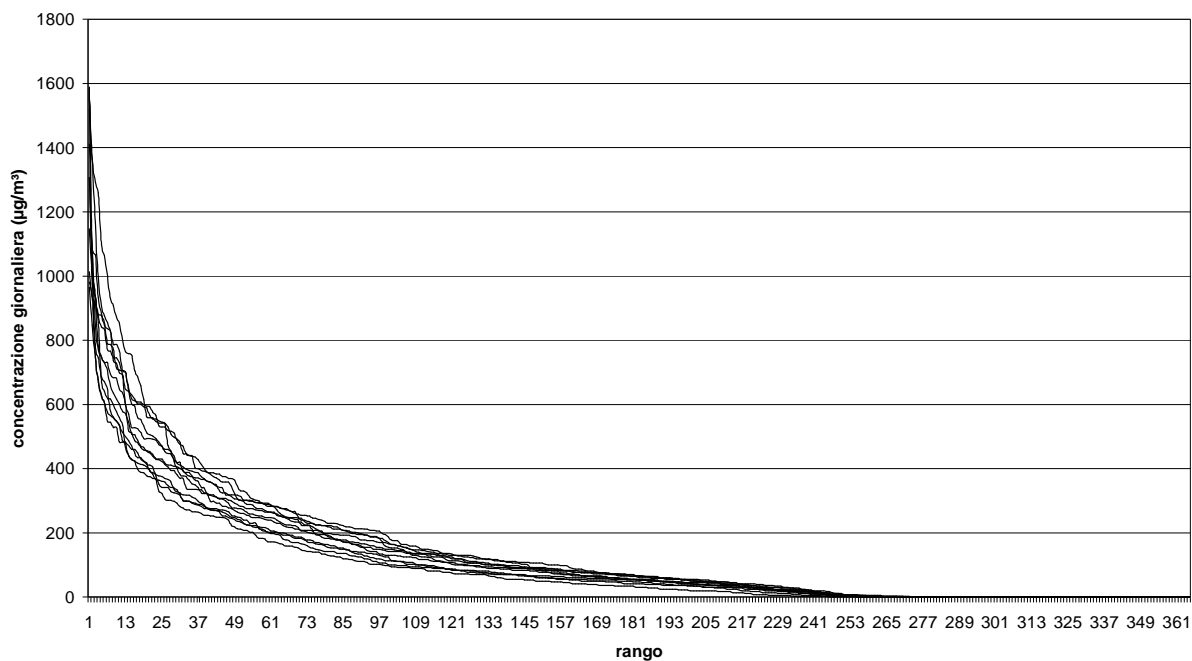
**Figura A7:** distribuzioni ordinate in senso decrescente delle concentrazioni massime giornaliere sui recettori a distanza 50 m dalla sorgente, quadrata 30 m x 30 m, per tutte le simulazioni effettuate.

sorgente quadrata 30x30, distanza = 100 m



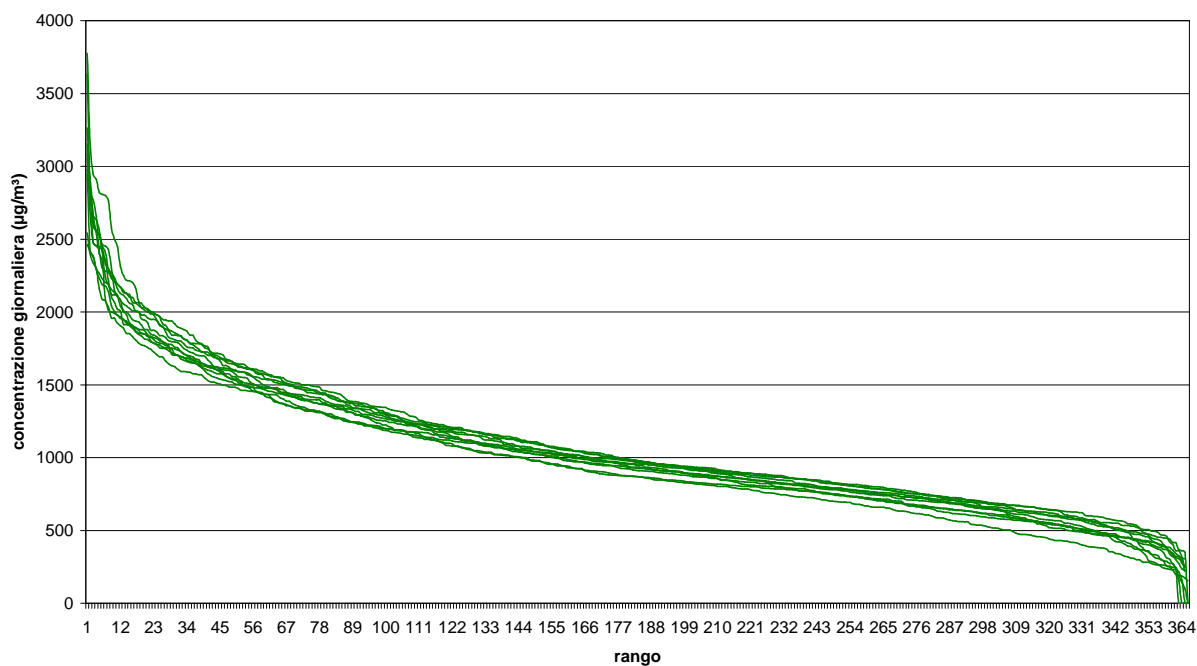
**Figura A8:** distribuzioni ordinate in senso decrescente delle concentrazioni massime giornaliere sui recettori a distanza 100 m dalla sorgente, quadrata 30 m x 30 m, per tutte le simulazioni effettuate.

sorgente quadrata 30x30, distanza = 150 m



**Figura A9:** distribuzioni ordinate in senso decrescente delle concentrazioni massime giornaliere sui recettori a distanza 150 m dalla sorgente, quadrata 30 m x 30 m, per tutte le simulazioni effettuate.

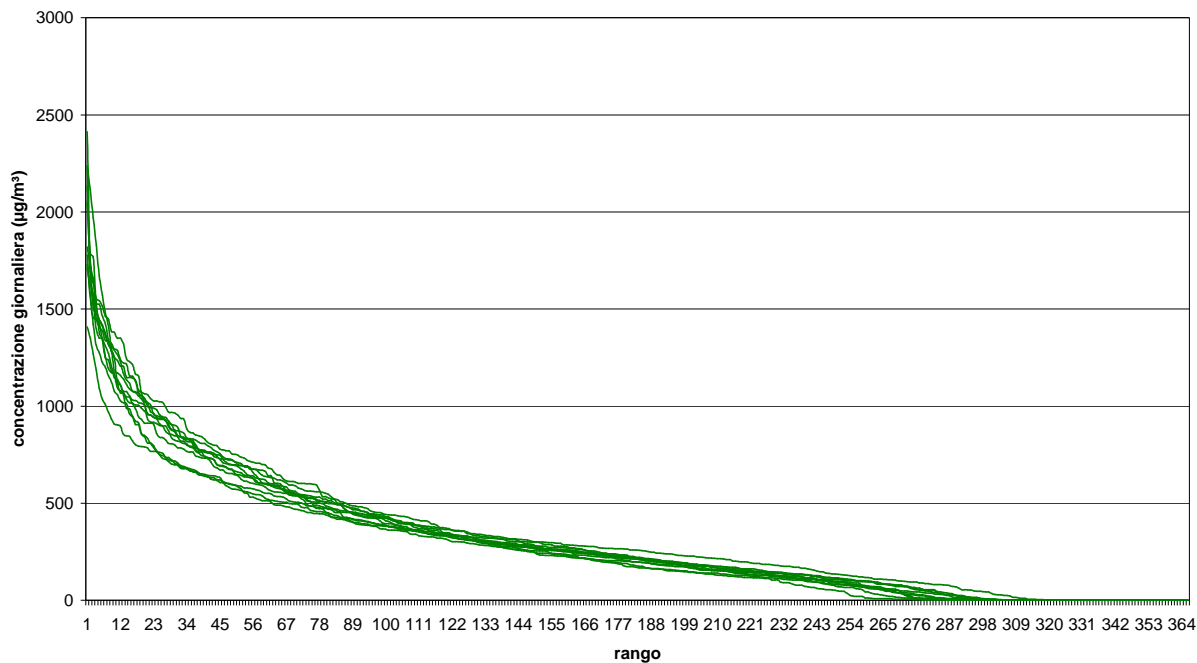
sorgente circolare, distanza = 50 m



**Figura A10:** distribuzioni ordinate in senso decrescente delle concentrazioni massime giornaliere sui recettori a distanza 50

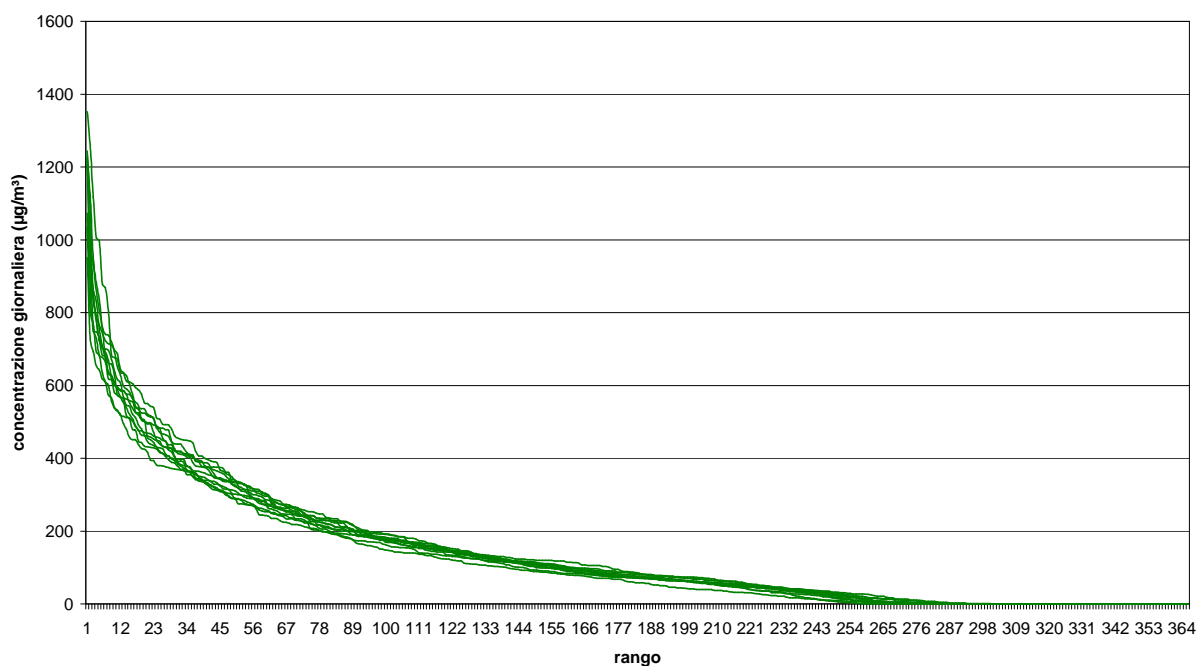
m dalla sorgente, circolare, per tutte le simulazioni effettuate.

**sorgente circolare, distanza = 100 m**

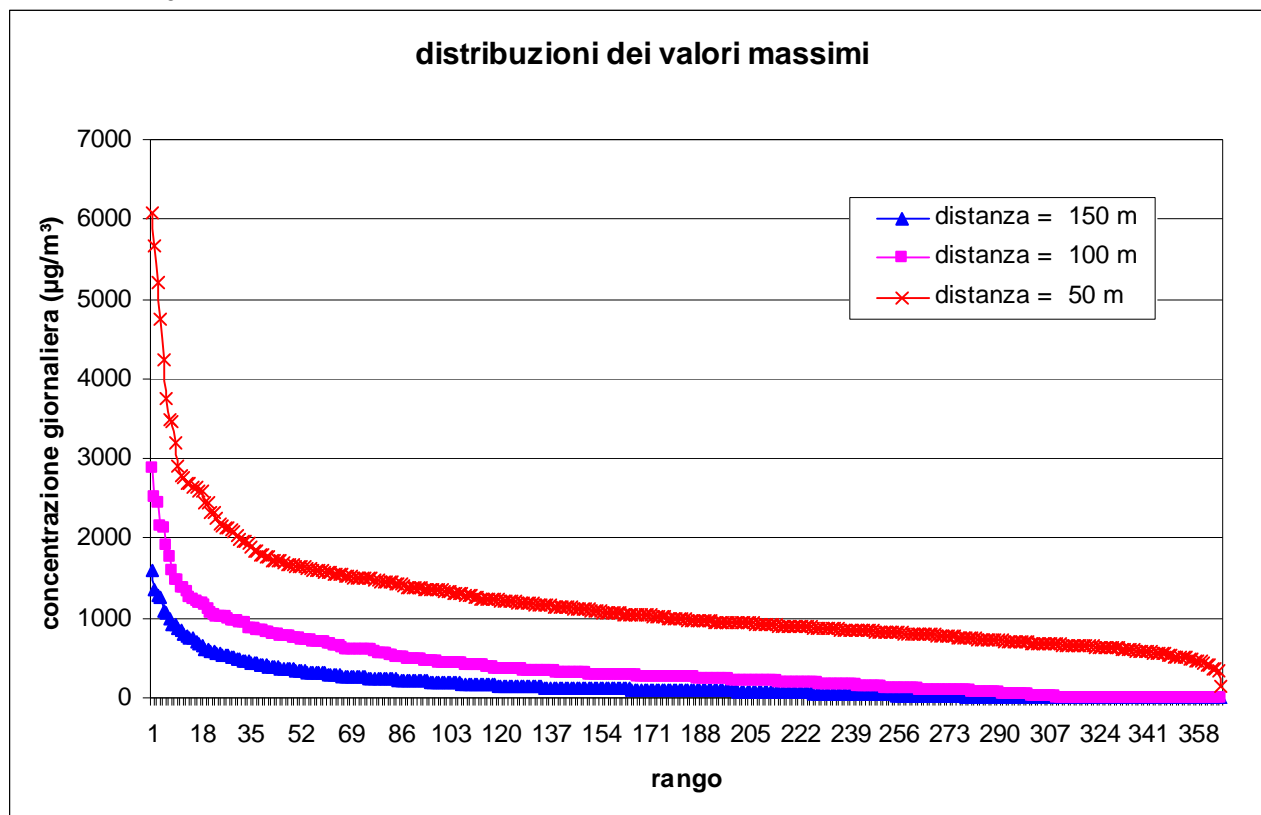


**Figura A11:** distribuzioni ordinate in senso decrescente delle concentrazioni massime giornaliere sui recettori a distanza 100 m dalla sorgente, circolare, per tutte le simulazioni effettuate.

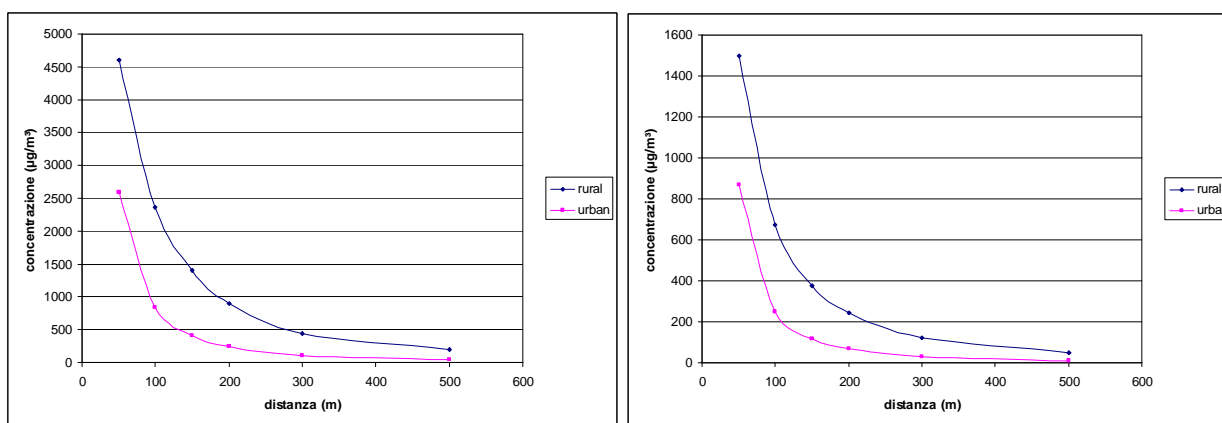
**sorgente circolare, distanza = 150 m**



**Figura A12:** distribuzioni ordinate in senso decrescente delle concentrazioni massime giornaliere sui recettori a distanza 150 m dalla sorgente, circolare, per tutte le simulazioni effettuate.



**Figura A13:** distribuzioni ordinate in senso decrescente delle concentrazioni massime giornaliere per tutte le simulazioni effettuate a distanza 50 m, 100 m e 150 m e tutti i tipi di sorgente utilizzati (flusso di massa 9000 g/h).



**Figura A14:** concentrazioni massime giornaliere (a sinistra) e 36° valore più elevato della media giornaliera (a destra) al variare della distanza dalla sorgente standard (50 m x 50 m, flusso di massa 9000 g/h) e delle condizioni di dispersione (rurali o urbane).

Tabella A19: 1°, 36° e 183° valore più elevato ottenuto per le concentrazioni giornaliere ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nelle simulazioni per le diverse sorgenti e per le distanze di 50 m, 100 m e 150 m (flusso di massa 9000 g/h).

sorgente	Distanza dalla sorgente (m)					
Standard (quadrata 50 m)	50		100		150	
	minimo	massimo	minimo	massimo	minimo	massimo
1°	2637	4607	1523	2363	877	1403
36°	1261	1493	510	673	250	379
183°	360	548	89	166	33	70
Quadrata 70 m di lato	50		100		150	
	minimo	massimo	minimo	massimo	minimo	massimo
1°	2393	3611	1211	2042	790	1227
36°	1109	1368	468	601	247	341
183°	396	569	99	164	39	74
Quadrata 30 m di lato	50		100		150	
	minimo	massimo	minimo	massimo	minimo	massimo
1°	3844	6072	1783	2883	967	1589
36°	1492	1850	517	800	267	436
183°	306	572	72	150	31	67
Circolare 35 m di raggio	50		100		150	
	minimo	massimo	minimo	massimo	minimo	massimo
1°	2466	3776	1409	2413	952	1353
36°	1578	1840	662	862	350	442
183°	871	983	170	259	59	86

Tabella A20: relazioni tra condizioni rurali e urbane (file meteo Firenze – Ximeniano 1994, sorgente standard)

Concentrazioni ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	condizioni	Distanza (m)					
		50	100	150	200	300	500
$C(24)_{max}$	Rural	4607	2363	1403	901	448	203
	Urban	2587	835	407	238	111	42
	Urban/rural	0.56	0.35	0.29	0.26	0.25	0.21
$C(24)_{36^\circ}$	Rural	1493	673	377	243	123	48
	Urban	870	251	118	68	31	11
	Urban/rural	0.58	0.37	0.31	0.28	0.25	0.23



## Appendice B

### **Variazioni nelle stime in relazione alla durata annua delle attività di emissione. Un approccio statistico-probabilistico.**

In alcune serie di simulazioni effettuate impiegando i dati meteorologici reali, sono state impostate emissioni su di un periodo giornaliero fissato all'intervallo orario 8-17 (10 ore complessive) e nulle nelle rimanenti ore del giorno. Ciò con lo scopo di rendere i risultati più realistici ed utilizzabili per i casi più comuni di attività, essendo queste, in genere, limitate ad un certo periodo e non estese sulle 24 ore. D'altra parte però l'emissione e la stima delle concentrazioni è stata effettuata sull'intero anno, non prevedendo a priori che le attività possano essere limitate ad un certo numero di giorni nell'anno. In realtà nelle situazioni più comuni le attività e le conseguenti emissioni hanno anche una durata limitata in termini di giorni, dell'ordine di 200 – 300 giorni l'anno, e molto più raramente si incontrano attività a ciclo continuo.

Occorre quindi verificare se i risultati ottenuti in queste simulazioni (presi a base per la determinazione delle soglie di emissione) mantengano o meno validità anche nei casi in cui la durata delle emissioni non corrisponde a 365 giorni/anno. Ed in caso negativo come tali risultati possono essere corretti ed estesi a queste situazioni emissive.

Per affrontare il problema si è impiegato un approccio di tipo statistico-probabilistico non essendo ipotizzabile una valutazione diretta utilizzando delle simulazioni di dispersione. Infatti, se si considera un campione di  $m$  giorni, ad esempio 250 giorni, questo campione può essere scelto all'interno dei 365 giorni dell'anno ( $N$ ) in un numero di modi (dove ciascun campione differisce dagli altri per almeno un elemento) pari a:

$$\binom{N}{m} = \frac{N!}{m!(N-m)!} = \binom{365}{250} = \frac{365!}{250!115!} \approx 2.65 \times 10^{+97}$$

Ciò rende evidentemente improponibile una analisi dei singoli casi.

Il problema viene affrontato utilizzando due diverse tecniche statistico-probabilistiche, le quali producono risultati concettualmente non necessariamente coincidenti, ma sufficientemente simili.

#### **B.1 Metodo di ricampionamento**

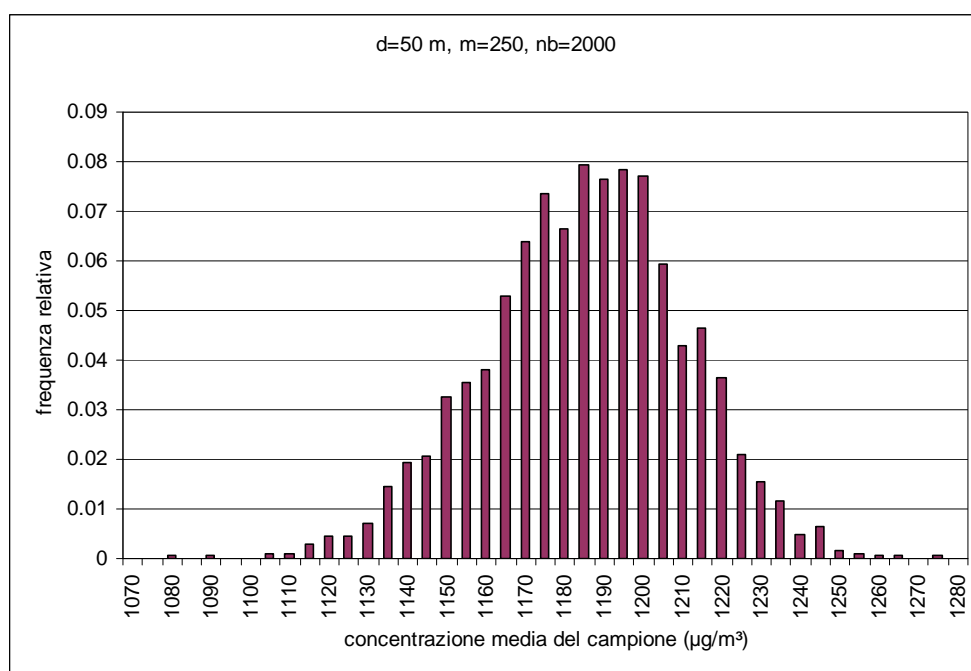
La prima tecnica utilizzata si riferisce al metodo di ricampionamento o bootstrap.<sup>15</sup> Nel presente caso questo consiste nell'effettuare materialmente numerose estrazioni casuali ( $nb$ ) di campioni di  $m$  dati nella popolazione relativa alle

---

<sup>15</sup> In questo caso più che bootstrap si tratta di un vero e proprio campionamento ripetuto: dall'estrazione di una serie numerosa di campionamenti casuali si ricostruisce la distribuzione statistica dei parametri di interesse.

365 medie giornaliere massime utilizzata per la determinazione delle soglie di emissione (cioè quella relativa a tutte le simulazioni effettuate). Su ciascun campione di dimensione  $m$  vengono ricalcolati i parametri statistici di interesse (la media e il 36° valore più elevato nel campione) ottenendo così delle distribuzioni di valori dei campioni da confrontare con quelli della popolazione. Queste distribuzioni forniscono anche una misura della probabilità di ottenere, con i campioni di dimensione  $m$ , deviazioni rispetto ai valori della popolazione. Nel caso presente i campioni di bootstrap sono stati ottenuti con estrazioni casuali senza ripetizione (ovvero uno stesso giorno estratto non compare per più di una volta all'interno di ciascun campione). Il ricampionamento è stato effettuato per le distribuzioni di valori massimi giornalieri relative alle distanze di 50 m, 100 m e 150 m dalla sorgente, e considerando una dimensione del campione ( $m$ ) pari a 300, 250, 200, 150, 100 e 50; per ogni situazione analizzata il numero di campioni estratti è stato di 2000.

Nella successiva Figura B1 è riportata la distribuzione di frequenza dei valori medi (delle medie giornaliere all'interno dei campioni di bootstrap) nel caso relativo alla distanza di 50 m e per campioni di bootstrap di dimensione 250.



**Figura B1:** distribuzione di frequenza per le medie dei campioni di bootstrap.

I valori delle medie dei campioni variano nell'intervallo tra 1078 µg/m³ e 1270 µg/m³, con un valor medio esattamente pari a quello della distribuzione della popolazione (1183 µg/m³) ed una deviazione standard pari a 26 µg/m³.

In Tabella B1 sono riportati i valori delle medie delle distribuzioni di bootstrap ottenute al variare della dimensione del campione estratto, per il caso relativo ai 50 m di distanza dalla sorgente.

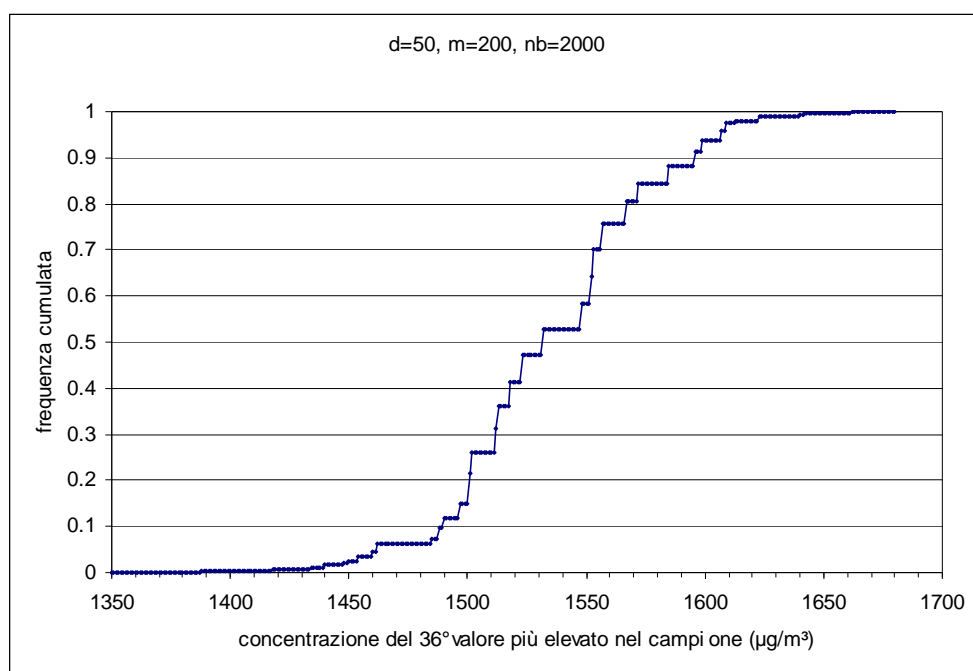
Si osserva come al crescere della dimensione del campione (avvicinandosi al valore della popolazione, pari a 365) la media della distribuzione delle medie dei campioni di bootstrap tenda a coincidere con il valore della popolazione e

l'incertezza a ridursi, riducendosi la deviazione standard della distribuzione. In ogni caso le deviazioni della media dei campioni di bootstrap rispetto al valore della popolazione risultano sempre estremamente modeste, anche per campioni di dimensione molto ridotta (ad esempio  $m=50$ ).

Risultati analoghi si ottengono per quanto riguarda le distanze di 100 m e 150 m dalla sorgente.

Tabella B1: valori medi delle distribuzioni dei campioni di bootstrap (distanza 50 m dalla sorgente) al variare delle dimensioni del campione (concentrazioni in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), numero di campioni estratti  $nb=2000$ .

Dimensione del campione (m)	Media minima	Media massima	media	Standard deviation
50	929	1541	1186	95
100	1010	1403	1185	62
150	1018	1344	1182	46
200	1070	1284	1182	34
250	1078	1270	1183	26
300	1123	1229	1183	18



**Figura B2:** distribuzione di frequenza cumulata per il 36° valore più elevato dei campioni di bootstrap.

In Figura B2 è invece riportata la distribuzione di frequenza cumulata ottenuta per i valori relativi alla 36ª media giornaliera più elevata presente all'interno dei campioni di bootstrap, per il caso  $m=200$  e per la distanza di 50 m dalla sorgente.

Si osserva in tal caso che il 36° valore più elevato all'interno dei campioni di bootstrap varia nell'intervallo tra  $1350 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $1677 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mentre il valore della popolazione risulta essere di  $1850 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ciò indica che, diversamente da quanto evidenziato per i valori medi dei campioni, un campione di 200 giorni estratto tra i 365 giorni dell'anno difficilmente può portare ad una stima del 36° valore più elevato analoga a quella che si ha sull'intero anno.

Mentre per il valore medio il metodo di ricampionamento indica che anche per campioni di dimensione relativamente modesta sussiste la possibilità di ottenere un valore analogo a quello della popolazione, nel caso del 36° valore più elevato questo risulta invece improbabile.

In Tabella B2 sono riportati i valori dei parametri d'interesse relativi al 36° valore più elevato, ottenuti dalle distribuzioni di bootstrap al variare della dimensione del campione per la distanza di 50 m dalla sorgente.

Tabella B2: parametri d'interesse delle distribuzioni del 36° valore più elevato dei campioni di bootstrap (distanza 50 m dalla sorgente) al variare delle dimensioni del campione (concentrazioni in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), numero di campioni estratti nb=2000.

Dimensione del campione (m)	minimo	massimo	mediana
50	636	1020	788
100	960	1418	1166
150	1187	1567	1387
200 <sup>16</sup>	1350	1677	1532
250	1502	1769	1623
300	1613	1792	1713

Si osserva come con il crescere della dimensione del campione estratto, crescono i valori minimi e massimi, e la mediana delle distribuzioni, avvicinandosi così al valore della popolazione ( $1850 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). In tutti i casi comunque il valore relativo alla popolazione risulta superiore al massimo ottenuto nelle distribuzioni dei campioni di bootstrap. Questo indica la sostanziale impossibilità (a rigore la bassissima probabilità) di ottenere in un campione di  $m$  giorni (50, 100, 150, 200, 250 e 300 giorni) un 36° valore più elevato comparabile con quello della popolazione (dei 365 giorni).

Poiché è relativamente a questo valore che si è ritenuto possibile e conveniente proporre dei valori di soglia in termini di emissione, questa evidenza permette e richiede che tali soglie vengano corrette ed adeguate alla dimensione del campione dei giorni d'interesse, ovvero alla durata delle attività di emissione.

Per adeguare le soglie occorre scegliere a quale nuovo valore riferirsi (se non è più il 36° valore più elevato della distribuzione delle concentrazioni massime giornaliere riportate in Appendice A). Un criterio può essere quello di scegliere

<sup>16</sup> In questo caso, con un ricampionamento di nb=10000 campioni, l'intervallo di variazione del 36° valore più elevato è risultato compreso tra 1367 e  $1677 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un numero di campioni pari a 20000 si è ottenuto un intervallo compreso tra 1348 e  $1718 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

l'estremo superiore degli intervalli riportati in Tabella B2, tenendo comunque conto che tale valore dipende in parte dal numero di campioni estratti (si veda la nota 2) e dalla casualità e contiene quindi una dose di arbitrarietà.

Con tale scelta allora il valore che sostituisce i  $1850 \mu\text{g}/\text{m}^3$  del 36° valore più elevato, per la distanza di 50 m dalla sorgente e per un campione di dimensione 200, ovvero per una attività con durata di 200 giorni, risulta pari a  $1677 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Da questo, considerando ancora un valore di fondo pari a  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , si arriva a determinare un valore di soglia di emissione di 161 g/h, da confrontare con i 145 g/h della soglia ottenuta per i 365 giorni/anno di attività.

## B.2 Metodo della distribuzione ipergeometrica

Supponiamo per fissare le idee di riferirsi ad una attività emissiva che si svolge su 250 giorni l'anno. In termini elementari possiamo impostare il seguente ragionamento:

Vogliamo sapere con quale probabilità nei 250 giorni di emissione possano ricadere i 36 giorni corrispondenti ai 36 valori più elevati delle concentrazioni medie giornaliere stimate con le simulazioni (relative all'intero anno cioè a 365 giorni).

Per ipotesi assumiamo che ciascun giorno sia equivalente, ovvero abbia la stessa probabilità di rientrare nel campione dei 250 giorni di attività.

Quando nel campione dei 250 giorni di attività ricadono i 36 giorni con concentrazioni stimate più elevate, le considerazioni che hanno portato a definire le soglie di emissione mantengono pieno valore. Quando nel campione non rientrano questi giorni, le soglie non risultano più adeguate e occorrerebbe definirne di altre, in relazione ai giorni con concentrazioni più elevate contenuti nel campione. Se la probabilità del primo evento (presenza dei 36 giorni con concentrazioni più elevate nel campione) è significativa, allora le soglie adottate possono essere ritenute adeguate.

In altri termini la probabilità ricercata corrisponde a quella di trovare  $k$  (ovvero 36) elementi particolari o successi in un campione di  $m$  (ovvero 250) elementi, estratto da una popolazione di  $N$  (365 giorni) elementi, dei quali  $H$  (36) sono successi o gli elementi particolari ricercati, mentre i rimanenti  $N-H$  sono insuccessi o elementi non di interesse.

La soluzione di questo problema è data dalla distribuzione ipergeometrica  $P_{IPG}(k, m, H, N)$ , ovvero:

$$P_{IPG}(k, m, H, N) = \frac{\binom{H}{k} \binom{N-H}{m-k}}{\binom{N}{m}}$$

$$\text{E nello specifico: } P_{IPG}(36,250,36,365) = \frac{\binom{36}{36} \binom{329}{214}}{\binom{365}{250}} = 5.1 \times 10^{-7}$$

La probabilità di questo caso specifico risulta praticamente nulla, e ciò indica che le soglie ottenute sulla base del 36° valore più elevato delle concentrazioni risultano non appropriate.

Ci si può quindi chiedere quale sarebbe la soglia massima di emissione per il caso specifico esaminato, tenendo conto di queste considerazioni probabilistiche.

Per definire questa soglia occorre innanzitutto indicare o riferirsi ad un livello di probabilità ritenuto significativo ( $p_{ref}$ ). Quindi valutare quale numero di successi (o elementi di interesse) all'interno della popolazione ( $H_T$ ) è tale da portare la probabilità di avere almeno  $k$  (36) successi (o elementi di interesse) nel campione estratto, superiore a quella di riferimento.

Si tratta in pratica di calcolare qual è il minor valore  $H$  ( $H_T$ ) che porta a soddisfare la relazione:

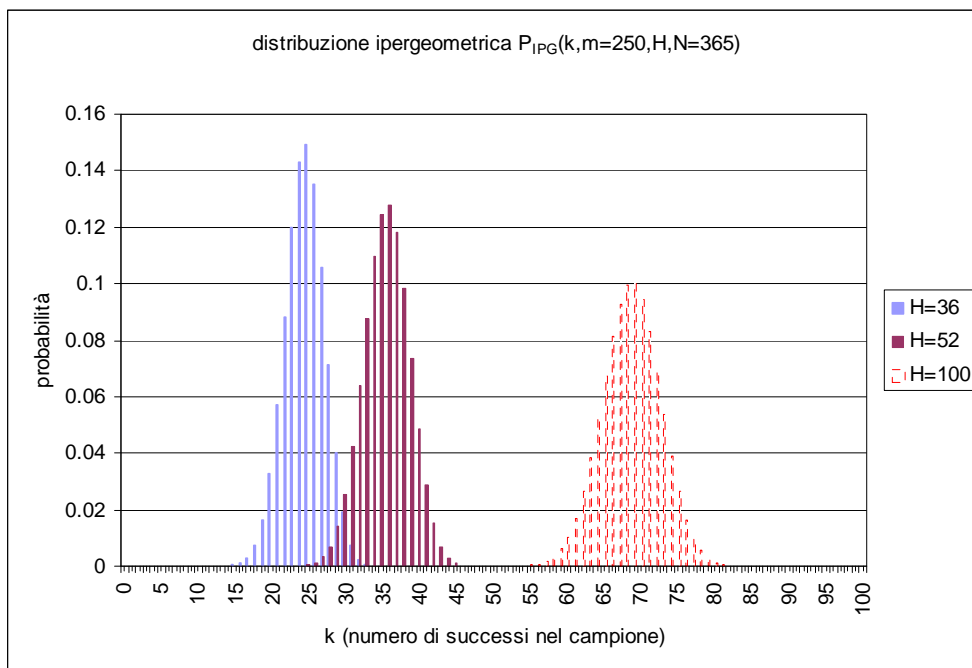
$$\sum_{k=36}^{\min(H,m)} P_{IPG}(k, m=250, H, N=365) > p_{ref}$$

La somma sull'indice  $k$  indica che concorrono a raggiungere la probabilità di riferimento anche tutti i casi nei quali il numero di successi è superiore a 36 (ma ovviamente non superiore a  $m$  ed ad  $H$ ), ovvero che nel campione estratto composto da  $m$  elementi siano presenti almeno  $k$  successi.

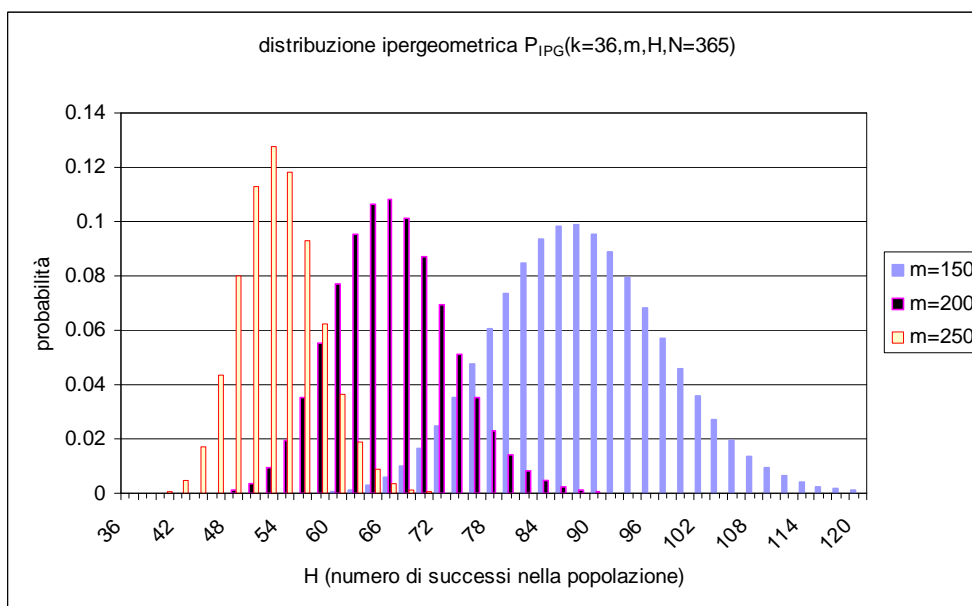
Fissata una probabilità di riferimento del 5%, per il caso specifico il valore  $H_T$  risulta pari a 45; questo significa che la soglia di emissione va determinata in corrispondenza del 45° rango della distribuzione delle medie giornaliere, cioè il valore limite di 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  deve essere riferito al 45° valore più elevato delle concentrazioni giornaliere, anziché al 36°.

Considerando la distribuzione dei valori massimi (Appendice A) di tutte le simulazioni effettuate, ad una distanza di 50 m, al 45° rango corrisponde il valore di 1713  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; quindi prendendo ancora un valore di fondo pari a 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , il fattore di riduzione del rateo di emissione risulta 57.1 e la soglia di emissione è ora pari a 158 g/h rispetto ai 145 g/h indicati in precedenza.

Considerata invece una probabilità di riferimento pari al 50%, il valore  $H_T$  risulta pari a 52; il 52° rango della distribuzione dei valori giornalieri massimi (a 50 m) vale 1642  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , e questo porta ad una soglia di emissione di 164 g/h. Si osserva quindi che pur variando in modo significativo la probabilità di riferimento, la corrispondente variazione nella soglia di emissione risulta modesta, almeno per il caso specifico esaminato. Ciò è dovuto in particolare al fatto che la distribuzione ipergeometrica con i valori dei parametri utilizzati è decisamente stretta, ovvero diventa rapidamente significativamente diversa da zero in un breve intervallo di valori, e anche, invece, che la distribuzione ordinata dei valori massimi di concentrazione giornaliera ha una forte pendenza soltanto sui primi ranghi e tende ad avere variazioni sempre meno rilevanti con il crescere del rango (si veda la Figura A13 in Appendice A, e le Figure B3 e B4).



**Figura B3:** esempi di distribuzione ipergeometrica al variare della dimensione del campione estratto.



**Figura B4:** Andamento delle probabilità della distribuzione ipergeometrica al variare del numero di successi nella popolazione.

Quindi scegliendo una probabilità di riferimento superiore si ottiene un valore di rango maggiore, ma la variazione in termini di soglia di emissione non risulta necessariamente rilevante. La scelta della probabilità di riferimento (ovviamente arbitraria) costituisce comunque uno strumento con il quale graduare la dose di cautela e di garanzia nella

definizione delle soglie di emissione. Nelle Tabelle B3 e B4 vengono riportati e confrontati i valori ottenuti per alcune distinte scelte della probabilità di riferimento (5% e 50%), al variare della dimensione del campione ovvero del numero di giorni di attività. In particolare per ogni data dimensione del campione scelta (50, 100, 150, 200, 250, 300 e 350) e relativamente ai risultati delle simulazioni ottenuti alle distanze di 50 m, 100 m e 150 m, sono presentati i valori di concentrazione corrispondenti al rango minimo ( $H_T$ ) che porta a raggiungere la probabilità di riferimento, ed inoltre le corrispondenti soglie di emissione ottenute ipotizzando una concentrazione di fondo pari a  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Tabella B3: probabilità di riferimento 50%

$m$	$H_T$	50 m		100 m		150 m	
Dimensione del campione	Rango minimo	Concentrazione ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Soglia di emissione (g/h)	Concentrazione ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Soglia di emissione (g/h)	Concentrazione ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Soglia di emissione (g/h)
50	259	810	333	119	2269	35	7714
100	130	1178	229	430	628	181	1492
150	87	1399	193	498	542	227	1189
200	65	1552	174	644	419	283	954
250	52	1642	164	754	358	364	742
300	44	1718	157	796	339	388	696
350	37	1844	146	852	317	428	631
365	36	1850	146	862	313	442	611

Tabella B4: probabilità di riferimento 5%

$m$	$H_T$	50 m		100 m		150 m	
Dimensione del campione	Rango minimo	Concentrazione ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Soglia di emissione (g/h)	Concentrazione ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Soglia di emissione (g/h)	Concentrazione ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Soglia di emissione (g/h)
50	221	892	303	193	1399	65	4154
100	107	1300	208	430	628	181	1492
150	72	1502	180	602	449	260	1038
200	55	1613	167	715	378	323	836
250	45	1713	158	778	347	375	720
300	39	1782	152	842	321	407	663
350	36	1850	146	862	313	442	611
365	36	1850	146	862	313	442	611

Ad esempio, se si considera un numero di giorni di attività pari a 100, ed una probabilità di riferimento pari al 50% si ottiene un valore  $H_T$  pari a 130 (con una probabilità di riferimento del 5% si sarebbe ottenuto 107), cui corrisponde una concentrazione a 50 m di  $1178 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (contro i  $1300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  relativi al 5%) ed una soglia di emissione di 229 g/h (rispetto ai 208 g/h relativi al 5% della probabilità di riferimento), da confrontare con il valore di 145 g/h relativo ai 365 giorni di emissione. Si vede quindi che in questo caso la variazione introdotta dalla correzione probabilistica è significativa pur



non modificando l'ordine di grandezza delle soglie.

### **B.3 Correzione probabilistica**

Entrambi i metodi adottati indicano che i valori di soglia ottenuti ipotizzando una emissione sull'intero arco dell'anno possono essere considerati eccessivamente restrittivi quando si considerano emissioni che intervengono su periodi limitati di giorni durante l'anno. Entrambi i metodi permettono anche di definire, pur con una dose di arbitrarietà ineliminabile, delle modalità per modificare le soglie di emissione tenendo conto dell'eventuale numero di giorni di attività; tali correzioni sono basate su considerazioni statistiche e probabilistiche.

Alla luce di quanto sopra esposto si ritiene pertanto percorribile l'ipotesi di utilizzare una correzione probabilistica, almeno per quei casi di attività la cui emissione copre un periodo molto limitato dell'intero anno.

Si osserva che questa correzione probabilistica non appare necessaria o risulta poco significativa per situazioni, ovvero numero di giorni di attività o emissione, superiori a 300 giorni in un anno.

I risultati ottenuti e le corrispondenti soglie di emissione alle quali si perviene utilizzando i due metodi e le modalità suggerite, non risultano necessariamente coincidenti ma senz'altro numericamente molto vicini e praticamente equivalenti.

Tra le modalità di correzione presentate si fa forse preferire quella ottenuta con l'impiego della distribuzione ipergeometrica in quanto anche se non completamente definita dal problema (occorre infatti scegliere una probabilità di riferimento), ha il vantaggio della completa riproducibilità dei risultati; ciò a differenza di quelli ottenibili con la tecnica del ricampionamento che continuano a contenere una dose di arbitrarietà legata alla casualità della estrazione dei campioni ed al loro numero.

In questo senso la scelta di una probabilità di riferimento del 5% ovvero l'impiego dei dati presentati in Tabella B4 per la definizione delle soglie di emissione appare portare ad un ulteriore elemento di garanzia sempre preferibile nell'ambito di protezione e garanzia dell'ambiente.

Seguendo tali scelte, in Appendice C sono state riportate tali variazioni nelle soglie di emissione in relazione alla durata delle attività.

## Appendice C

### Ipotesi di procedura di valutazione della compatibilità ambientale delle emissioni di polveri diffuse.

I risultati ottenuti con le simulazioni modellistiche, effettuate con diverse sorgenti e con dati meteorologici specifici dell'area della Provincia di Firenze, indicano alcuni valori di emissione oltre i quali sussiste la possibilità che un'applicazione modellistica porti a prevedere il superamento del limite di legge per la qualità dell'aria relativo al PM10.

A causa delle incertezze intrinseche nell'impiego dei modelli di dispersione e di quelle relative ai dati ed alle ipotesi utilizzate nelle simulazioni, tale risultato non significa automaticamente che in condizioni reali si abbia la certezza dell'effettivo superamento dei limiti. Significa però che tale possibilità sussiste e che i metodi di valutazione preventiva dell'impatto indicano il rischio di tale evento. Di fronte ad un tale risultato il principio di cautela richiederebbe quindi di operare preventivamente per evitarne l'eventualità: ciò significa in sostanza ridurre il livello di pressione limitando opportunamente le emissioni, sia direttamente che mediante misure di mitigazione.

In relazione alla notevole variabilità ed alla diminuzione delle concentrazioni con l'allontanarsi dalla sorgente, tenuto conto che i valori limite di qualità dell'aria per il PM10 sono espressamente definiti a protezione della salute umana, è possibile individuare dei livelli di soglia di emissione variabili con la distanza, limitatamente ai casi in cui non siano presenti recettori sensibili all'interno delle fasce di territorio più vicine alla sorgente.

I valori di soglia di emissione individuati sono riportati, al variare della distanza, nella Tabella C1. Questi si riferiscono a condizioni di dispersione rurali, terreno piano e durata delle attività non superiori a 10 ore/giorno (e ad una concentrazione di fondo pari a  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Tabella C1: proposta di soglie assolute di emissione di PM10 al variare della distanza dalla sorgente

Intervallo di distanza (m) del recettore dalla sorgente	Soglia di emissione di PM10 (g/h)
0 ÷ 50	145
50 ÷ 100	312
100 ÷ 150	608
>150	830

Al crescere della distanza cresce l'entità della soglia di emissione critica, la quale deve comunque essere limitata poiché, anche se in assenza di recettori, cresce la porzione di territorio che rimane soggetta al possibile superamento dei limiti di legge per la qualità dell'aria. Per questo motivo nella Tabella C1 è stato assegnato un valore massimo per tutte le distanze superiori a 150 m dalla sorgente.

Se si utilizzano in emissione i valori riportati in Tabella C1 all'interno di una simulazione con i dati meteorologici disponibili si ottiene il raggiungimento del valore limite relativo al 36° valore più elevato delle concentrazioni medie

giornaliere, pari a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Per operare praticamente occorre definire delle situazioni che non comportino questa eventualità, ovvero condizioni di emissione per le quali si ha la ragionevole certezza che tale evento non si verifichi. Il criterio qui proposto è quello di impiegare un fattore di cautela pari a 2 per definire tali soglie effettive.

In pratica quando un'emissione risulta essere inferiore alla metà delle soglie presentate in Tabella C1, tale emissione può essere considerata a priori compatibile con i limiti di legge per la qualità dell'aria (nei limiti di tutte le assunzioni effettuate che hanno portato a definire tali soglie di emissione).

Quando l'emissione è compresa tra la metà del valore soglia e la soglia, la possibilità del superamento dei limiti è soprattutto legata alle differenze tra le condizioni reali e quelle adottate per le simulazioni, pertanto in tali situazioni appare preferibile una valutazione diretta dell'impatto o una valutazione modellistica specifica che dimostri con strumenti e dati adeguati la compatibilità dell'emissione.

Sulla base di queste assunzioni è allora possibile prefigurare una ipotesi di procedura di valutazione della compatibilità ambientale delle emissioni di polveri diffuse.

Il metodo di valutazione dipende dalle condizioni in cui avviene l'emissione e dalle sue modalità; senza la pretesa di definire in modo assoluto ed univoco tali condizioni si possono delineare alcune situazioni nelle quali risultano applicabili o meno i precedenti risultati. La definizione di queste situazioni non può essere che qualitativa; nei casi di incertezza si ritiene debba essere utilizzato un criterio conservativo.

Qualora l'emissione abbia caratteristiche che non si discostano in modo rilevante dalle seguenti:

9. Durata delle attività di almeno 300 giorni/anno, per un numero medio di ore al giorno superiore a 6 e non superiore a 10, svolta in periodo prevalentemente diurno.
10. Tipologia dell'area circostante l'emissione definibile come rurale<sup>17</sup>.
11. Quando le concentrazioni di fondo possono essere considerate non superiori a  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .
12. In condizioni orografiche definibili di terreno piano<sup>18</sup>.
13. Quando la maggior parte delle emissioni si svolgono permanentemente all'interno di un'area di forma sufficientemente regolare e di dimensioni lineari dai 20 ai 100 m.
14. Quando le emissioni risultano non convogliate in specifici dispositivi di emissione e invece distribuite all'interno dell'area di attività.

In tal caso la valutazione può essere effettuata seguendo quanto indicato nella seguente Tabella C2.

---

<sup>17</sup> Ovvero laddove in un cerchio di raggio di alcuni km intorno alla sorgente, la maggior parte del territorio non è modellata artificialmente o urbanizzata (cioè edificata o soggetta a copertura artificiale). Nei casi di incertezza si considerano le condizioni più cautelative, per cui si considera rurale ai presenti fini la situazione in cui la percentuale di territorio non urbanizzato è almeno del 40%.

<sup>18</sup> Ovvero laddove in un cerchio di circa 200-300 m di distanza dalla sorgente il territorio non presenta significative porzioni con quote ampiamente superiori a quelle della zona della sorgente (ovvero un dislivello superiore a qualche decina di metri di quota)

Tabella C2: ipotesi di procedura di valutazione per condizioni simili a quelle analizzate

Intervallo di distanza (m) del recettore dalla sorgente	Soglia di emissione di PM10 (g/h)	risultato
0 ÷ 50	<73	Nessuna azione
	73 ÷ 145	Monitoraggio presso il recettore o valutazione modellistica con dati sito specifici
	> 145	Non compatibile (*)
50 ÷ 100	<156	Nessuna azione
	156 ÷ 312	Monitoraggio presso il recettore o valutazione modellistica con dati sito specifici
	> 312	Non compatibile (*)
100 ÷ 150	<304	Nessuna azione
	304 ÷ 608	Monitoraggio presso il recettore o valutazione modellistica con dati sito specifici
	> 608	Non compatibile (*)
>150	<415	Nessuna azione
	415 ÷ 830	Monitoraggio presso il recettore o valutazione modellistica con dati sito specifici
	> 830	Non compatibile (*)

(\*) fermo restando che in ogni caso è possibile effettuare una valutazione modellistica che produca una quantificazione dell'impatto da confrontare con i valori limite di legge per la qualità dell'aria, e che quindi eventualmente dimostri la compatibilità ambientale dell'emissione.

Rimuovendo l'ipotesi 2 di terreno rurale (quindi riferendosi a condizioni definite come urbane), sostituendo l'ipotesi 3 con una concentrazione di fondo pari a 30 µg/m<sup>3</sup> e utilizzando i risultati riportati in Appendice A, si ottengono le soglie assolute presentate in Tabella C3, dalle quali con il criterio già adottato è possibile dedurre condizioni analoghe a quelle della Tabella C2. Poiché però l'analisi sulle condizioni urbane è stata molto sommaria, nell'attesa di renderla completa, si può adottare un criterio cautelativo ed utilizzare anche per il caso urbano le soglie sviluppate per il caso rurale.

Tabella C3: ipotesi di soglie assolute di emissione di PM10 al variare della distanza dalla sorgente per il caso urbano

Intervallo di distanza (m) del recettore dalla sorgente	Soglia di emissione di PM10 (g/h)
0 ÷ 50	166
50 ÷ 100	560
100 ÷ 150	1304
>150	2030

In ogni caso in cui la rispondenza alle condizioni precedenti non appare chiara è consigliabile che venga dimostrato e valutato attraverso una specifica applicazione modellistica la compatibilità ambientale di una data attività che comporti

l'emissione di polveri diffuse.

Qualora invece si ritenga opportuno modificare il valore relativo alle concentrazioni di fondo (ipotesi 3), le soglie di emissione possono essere ricalcolate con le procedure già utilizzate.

Qualora la durata delle attività risulti inferiore ai 300 giorni (ipotesi 1), l'analisi effettuata in Appendice B indica che è possibile sostituire le soglie assolute della Tabella C1 con quelle riportate in Tabella C4.

Tabella C4: proposta di soglie assolute di emissione di PM10 al variare della distanza dalla sorgente e al variare del numero di giorni di emissione (i valori sono espressi in g/h)

Intervallo di distanza	Giorni di emissione all'anno					
	>300	300 ÷ 250	250 ÷ 200	200 ÷ 150	150 ÷ 100	<100
0 ÷ 50	145	152	158	167	180	208
50 ÷ 100	312	321	347	378	449	628
100 ÷ 150	608	663	720	836	1038	1492
>150 <sup>19</sup>	830	908	986	1145	1422	2044

Il caso in cui è la durata dell'attività giornaliera ad essere significativamente diversa da quella qui adottata, ovvero superiore alle 10 ore/giorno, non è stato analizzato in dettaglio; di fronte ad una tale condizione si può operare cautelativamente considerando le stime di concentrazione massima oraria e/o giornaliera ottenute nelle simulazioni impostando una emissione sulle 24 ore del giorno (Appendice A) per determinare un valore di emissione di garanzia rispetto ai limiti di legge per la qualità dell'aria.

Come segnalato anche la forma e le dimensioni delle sorgenti utilizzate nelle simulazioni modellistiche costituiscono elementi rilevanti nella determinazione delle soglie: in pratica le valutazioni effettuate sono adeguate per sorgenti che possono essere ricondotte ad aree con emissioni uniformi aventi dimensioni lineari inferiori ai 100 m.

Quando ci si discosta da tale condizione è preferibile effettuare valutazioni dirette mediante modelli di dispersione. In alternativa, per trattare situazioni caratterizzate da sorgenti più estese, si può ipotizzare di procedere suddividendo queste in parti aventi dimensioni coerenti con quanto sopra espresso.

Rimangono allora da definire le modalità con le quali si possono analizzare situazioni emissive composte da più sorgenti contemporanee.

Tenendo ancora presente che risulta sempre preferibile effettuare valutazioni dirette per mezzo dei modelli di dispersione, per poter trattare situazioni con più sorgenti occorre in primo luogo porre una condizione di limitazione per

<sup>19</sup> Si segnala che i valori relativi alle distanze superiori a 150 m, sono ottenuti utilizzando il rapporto esistente tra i valori di soglia del caso di emissioni con durate superiori a 300 giorni ( $830/608=1.37$ ). Infatti per le distanze maggiori di 150 m non sono stati analizzati in dettaglio i risultati di tutte le simulazioni.

l'impiego dei valori di soglia precedentemente riportati: occorre infatti che le sorgenti non circondino completamente il recettore, perché in tal caso le valutazioni effettuate non risulterebbero certamente cautelative.

Considerando le situazioni geometriche utilizzate nelle simulazioni si può osservare che la condizione estrema in termini di copertura dell'orizzonte ovvero di angolo (piano) sotto il quale il recettore vede la sorgente, si ha quando questo è posto alla minima distanza, cioè sul bordo dell'area sorgente. Considerando che le forme geometriche utilizzate nelle simulazioni come sorgenti sono sempre figure convesse, ne deriva che l'angolo massimo è pari a  $180^\circ$  (o  $\pi$  in radianti).

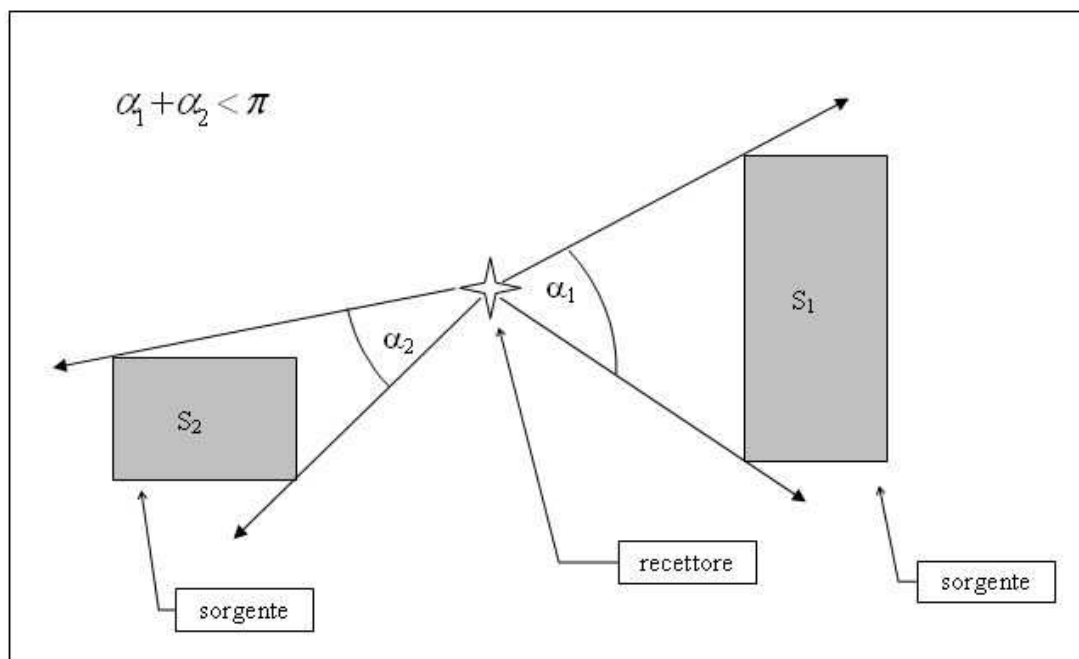
Per poter utilizzare i risultati delle simulazioni effettuate e le relative soglie in presenza di più sorgenti appare allora necessario che l'angolo complessivo sotto cui le sorgenti sono viste dal recettore non risulti superiore a  $180^\circ$  (ovvero  $\pi$ ).

Verificata l'esistenza di tale condizione (si veda la Figura C1) in presenza di più sorgenti si può operare come segue:

Detta  $S_i$  la  $i$ -esima sorgente cui corrisponde una emissione media oraria  $E_i$ , ipotizziamo che  $S_i$  sia posta alla distanza  $d_i$  da un dato recettore, così che ad essa corrisponderebbe una soglia emissiva  $E_{Ti}$ . Supponendo siano presenti  $n$  sorgenti, affinché nel complesso siano rispettate le soglie di emissione occorre che sia:

$$\sum_{i=1}^n \frac{E_i}{E_{Ti}} < 1$$

Nel caso inoltre in cui i tempi delle attività e quindi delle conseguenti emissioni risultino corrispondenti ad un numero di giorni diversificato per ogni sorgente, le soglie  $E_{Ti}$  dovranno essere riferite ai periodi di attività, ovvero dovranno essere scelte nella Tabella opportuna tra quelle precedentemente riportate.



**Figura C1:** esempio di angoli sotto cui vengono viste le sorgenti da parte di un recettore e condizione richiesta affinché sia utilizzabile la metodologia ipotizzata di verifica delle soglie di emissione in presenza di più sorgenti.

**All.2 - Delibera di Giunta Provinciale n. 213 del 03/11/2009 pubblicata il 06/11/2009.**

*“Documento informatico firmato digitalmente ai sensi del T.U. 445/2000 e del Dlgs 82/2005 e ri-spettive norme collegate, il quale sostituisce il documento cartaceo e la firma autografa; il documento informatico e’ memorizzato digitalmente ed e’ rintracciabile sul sito internet <http://attionline.provincia.fi.it/>”*